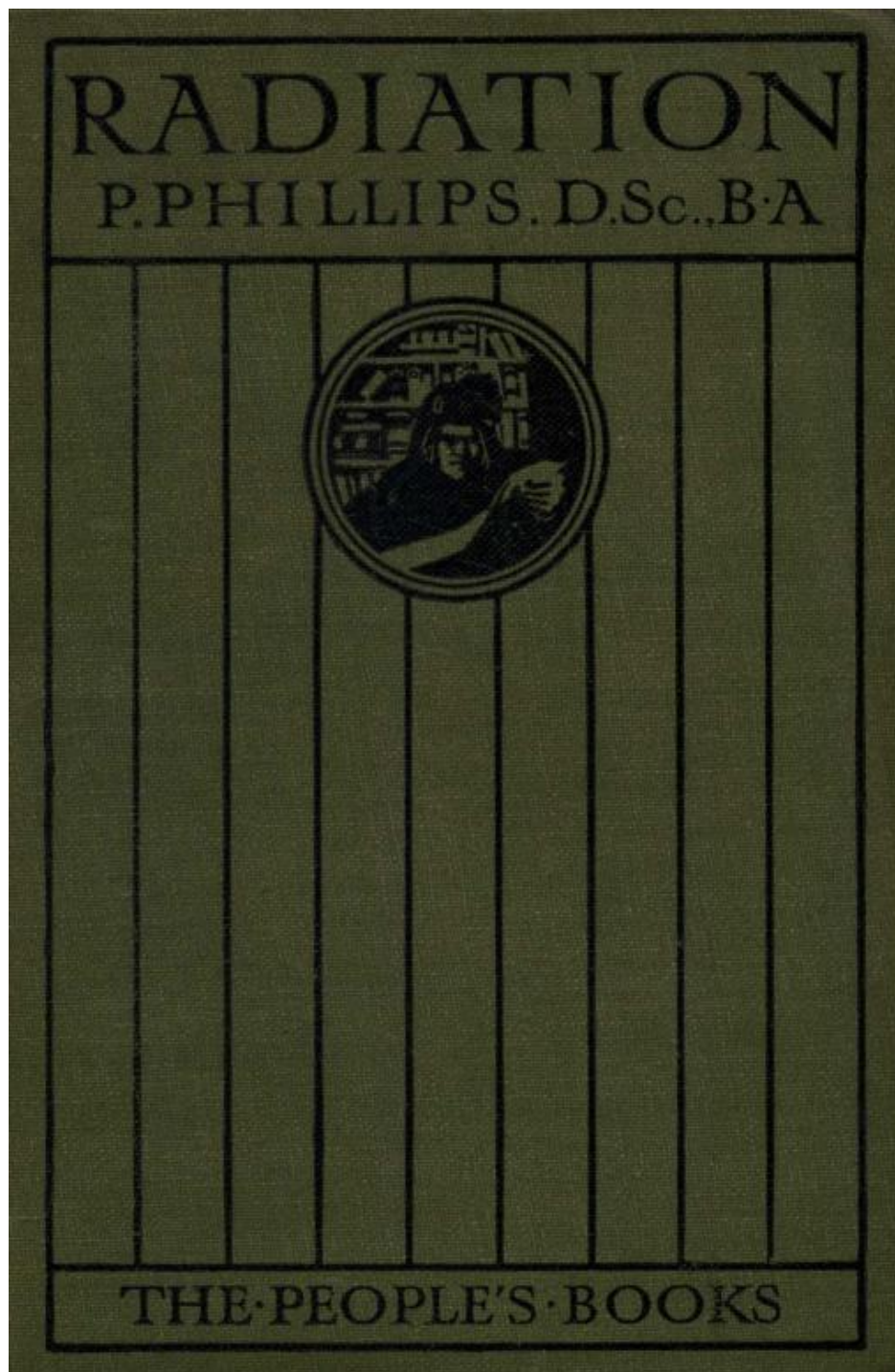


Излучение

Перси Филлипс



Электронная книга проекта "Гутенберг" о излучении

Эта электронная книга предназначена для использования любым человеком в любой точке Соединенных Штатов и большинства других частей мира бесплатно и практически без каких-либо ограничений. Вы можете скопировать его, раздать или повторно использовать в соответствии с условиями лицензии Project Gutenberg, прилагаемой к этой книге, или онлайн по адресу www.gutenberg.org. Если вы находитесь за пределами Соединенных Штатов, вам необходимо ознакомиться с законами страны, в которой вы находитесь, прежде чем использовать эту электронную книгу.

Название: Радиация

Автор: Перси Филлипс

Дата выхода: 17 июля 2015 г. [Электронная книга № 49467]

Последнее обновление: 24 октября 2024 г.

Язык: Английский

Втитрах: Продюсер Эл Хейнс

*** НАЧАЛО ПРОЕКТА "ЭЛЕКТРОННАЯ КНИГА ГУТЕНБЕРГА" ИЗЛУЧЕНИЕ " ***

ИЗЛУЧЕНИЕ

П. ФИЛЛИПС

D.Sc . (Бхам), B.Sc. (ЛОНДОН), Б.А. (кантабр.)

ЛОНДОН: Т. С. & Е. С. JACK
67 ЛОНГ-АКРОВ, Вашингтон, И ЭДИНБУРГ
НЬЮ-ЙОРК: ИЗДАТЕЛЬСТВО DODGE PUBLISHING CO.
1912

Содержание

ГЛАВА

ВВЕДЕНИЕ

I. ПРИРОДА ЛУЧИСТОГО ТЕПЛА И СВЕТА

II. ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВОЛН

III. ЗНАЧЕНИЕ СПЕКТРА

IV. ЗАКОНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

V. ПОЛНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

VI. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОГЛОЩЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

VII. ДАВЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

VIII. СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ЛУЧИСТЫМ ТЕПЛОМ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ВОЛНАМИ

ИНДЕКС

Введение

Мы настолько знакомы с беспокойством моря и с тем опустошением, которое оно производит на наше судоходство и наши побережья, что нам не нужны никакие демонстрации, чтобы убедить нас в том, что волны могут переносить энергию из одного места в другое. Однако мало кто из нас осознает, что энергия в море - ничто по сравнению с энергией в пространстве вокруг нас, и все же именно к такому выводу нас приводит огромное количество экспериментальных данных. Морские волны находятся только у поверхности, и эффект самого сильного шторма проникает всего на несколько ярдов ниже поверхности, в то время как волны, которые несут к нам свет и тепло от солнца, заполняют все пространство вокруг нас и приносят на землю непрерывный поток энергии мощностью более 300 миллионов миллионов лошадиных сил из года в год.

Наиболее важной частью изучения излучения энергии является исследование характеристик волн, составляющих тепло и свет, но существует и другой метод передачи энергии, включенный в термин Излучение; источник энергии ведет себя подобно батарее орудий, направленных во все стороны и выпускающих непрерывный град пуль, которые ударяются о препятствия и, таким образом, отдают энергию из-за своего движения. Этот метод относительно неважен и обычно рассматривается отдельно при рассмотрении вопроса о радиоактивности. Поэтому мы не будем рассматривать его в этой книге.

ИЗЛУЧЕНИЕ

ГЛАВА I

ПРИРОДА ЛУЧИСТОГО ТЕПЛА И СВЕТА

Сходство тепла и света.—Очень скоро становится очевидным, что свет и тепло имеют, по сути, одинаковые характеристики. И свет, и тепло передаются к нам от солнца через девяносто с лишним миллионов миль пространства, незанятого каким-либо материалом.

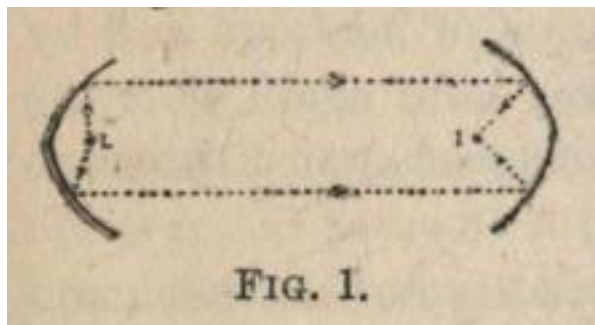


Рисунок 1

И то, и другое отражается одинаковым образом от отражающих поверхностей. Таким образом, если расположить два параболических зеркала лицом друг к другу, как показано на схеме (рис. 1), с источником света *L* в фокусе одного из них, то в фокусе *I* другого будет сформировано перевернутое изображение света, которое может быть получено на маленьком экране, размещенном там. Траектории двух лучей показаны пунктирными линиями. Если теперь заменить *L* на нагретый шар и [1] почерневшая колба термометра будет помещена в положение

И, термометр покажет резкое повышение температуры, показывая, что тепловые лучи фокусируются там так же, как и лучи света.

[1] См. стр. 37.

И тепло, и свет ведут себя одинаково при переходе от одного прозрачного вещества к другому, например, из воздуха в стекло. Это можно легко продемонстрировать, сформировав изображения источников тепла и света с помощью выпуклой линзы, как показано на схеме (рис. 2).

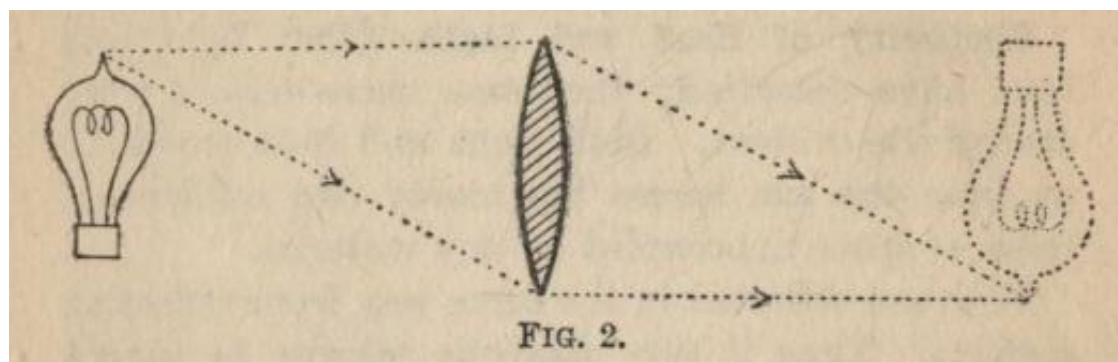


РИС. 2.

Источник света представлен в виде электрической лампочки, а два луча, образующих изображение острия лампочки, представлены пунктирными линиями. Изображение также имеет точечную форму и может быть получено на экране, расположенном в этом положении.

Если теперь электрическую лампочку заменить раскаленным шаром или каким-либо другим источником тепла, мы обнаружим, снова используя почерневшую колбу термометра, что тепловые лучи фокусируются почти в том же положении, что и лучи света.

Точки сходства между лучистым теплом и светом можно множить до бесконечности, но поскольку некоторые из них будут приведены в ходе книги, на данном этапе будет достаточно этих нескольких фундаментальных.

Корпускулярная теория.— Немногим более века назад все считали, что свет состоит из почти невообразимо малых частиц или корпускул, вылетающих с огромной скоростью с любой светящейся поверхности и вызывающих ощущение зрения при попадании на сетчатку. Это была корпускулярная теория. Она легко объясняет, почему свет распространяется по прямым линиям в однородной среде, и ее можно использовать для объяснения отражения и преломления.

Размышление.—Чтобы объяснить отражение, предполагается, что отражатель отталкивает частицы по мере их приближения к нему, и поэтому путь одной частицы будет таким, как указано пунктирной линией на диаграмме (рис. 3).

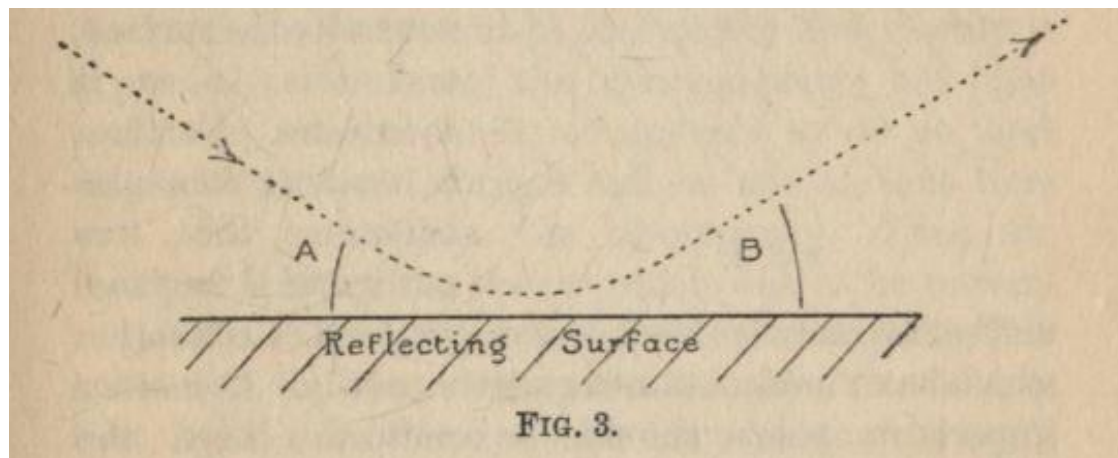


РИС. 3.

До достижения точки А мы предполагаем, что частица не ощущает заметного отталкивания от поверхности. После А отталкивание изгибает траекторию частицы по кругу до тех пор, пока не будет достигнуто значение В, а после В отталкивание снова становится незаметным. Эффект такой же, как у идеально упругого шарика, подпрыгивающего на идеально гладкой поверхности, и, следовательно, угол, под которым частица поднимается вверх, равен углу, под которым она отлетает.

Преломление света.—Чтобы объяснить рефракцию, предполагается, что, когда частица подходит очень близко к поверхности прозрачного вещества, она притягивается более плотным веществом, например стеклом, сильнее, чем более легким веществом, например воздухом. Таким образом, частица, движущаяся в воздухе вдоль пунктирной линии (рис. 4), достигла бы точки А до того, как притяжение стало заметным, и, следовательно, двигалась бы по прямой. Между точками А и В будет ощущаться притяжение стекла, которое, следовательно, будет тянуть частицу по указанному пути. За пределами В притяжение снова становится незаметным, потому что стекло будет притягивать частицу одинаково во всех направлениях, и поэтому путь снова станет прямой линией. Мы замечаем, что благодаря этому процессу направление траектории стало более близким к нормали к поверхности, и это так, как и должно быть. Далее, рассматривая углы между двумя траекториями и нормаль математически, мы можем вывести законы преломления, которые были получены экспериментально. Следует отметить еще один важный момент. Поскольку поверхность притягивала частицу между А и В, скорость частицы в стекле будет больше, чем в воздухе.

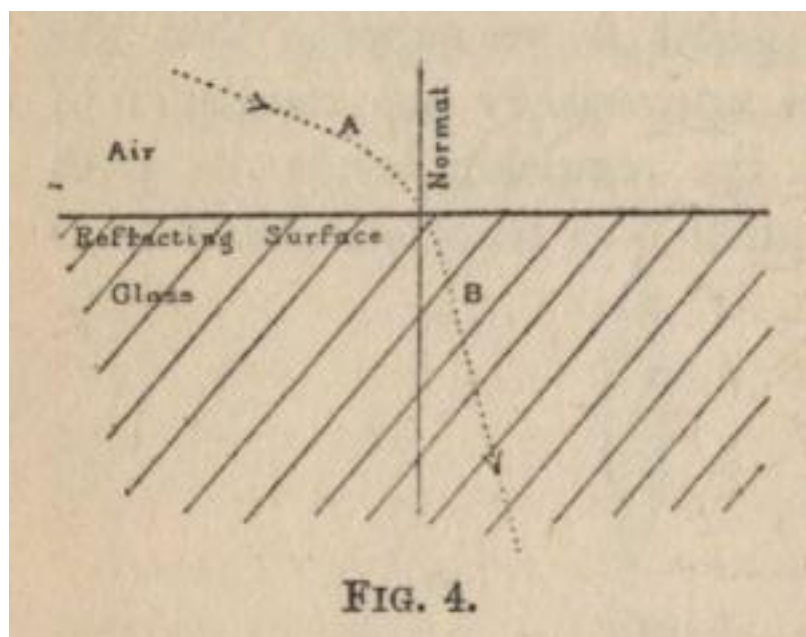


РИС. 4

Выброс и преломление на одной и той же поверхности.—Очень скоро возникает трудность из-за того, что почти на всех прозрачных поверхностях часть света отражается, а часть преломляется. Как одна и та же поверхность может иногда отталкивать, а иногда притягивать частицу? Ньютон преодолел эту трудность, приписав каждой частице полярность, так что один конец отталкивался, а другой притягивался отражающей и преломляющей поверхностью. Таким образом, отразилась ли частица или преломилась, зависело просто от того, какой конец оказался в данный момент первым. Приписав корпускулам подходящие характеристики, Ньютон со своей сверхчеловеческой изобретательностью смог объяснить все известные факты, и поскольку корпускулы были настолько малы, что прямое наблюдение было невозможно, а авторитет Ньютона был так велик, некому было сказать ему "нет".

Волновая теория. Прямолинейное распространение.—Верно, Гюйгенс в 1678 году выдвинул теорию о том, что свет состоит из какого-то рода волн, исходящих от светящегося тела, и он показал, насколько легко она отражает ряд наблюдаемых фактов; но свет распространяется по прямым линиям, или кажется, что распространяется, а волны огибают углы, и никто в то время не был в состоянии объяснить это несоответствие. Таким образом, в течение почти столетия теория, которая должна была быть общепринятой, оставалась безжизненной и дискредитированной. Ответ волновой теории на это возражение теперь состоит в том, что свет действительно огибает углы, хотя и незначительно, и что малость этого изгиба объясняется просто крайней короткостью световых волн. Чем длиннее волны, тем больше они изгибаются по углам. Это можно заметить в любой гавани с извилистым входом, поскольку небольшие беспокойные волны практически полностью перекрываются, в то время как значительная часть длинной зыби успевает проникнуть в гавань.

Интерференция света. Иллюстрация рябью. Возрождение волновой теории восходит к открытию доктором Янгом явления интерференции света. Чтобы понять это, мы рассмотрим тот же эффект в ряби на поверхности ртути. Камертон, Т (рис. 5), имеет два маленьких стилиа, S S, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга и погружаемых в ртуть, содержащуюся в большом неглубоком желобе. Когда камертон настроен на вибрацию, два стилиа будут

двигаться вверх и вниз по ртути в одно и то же время, и каждый из них запустит систему пульсаций, в точности похожих на другие. В любой момент каждая система будет представлять собой серию концентрических кругов с центром в стиле, а гребни ряби будут находиться на равном расстоянии друг от друга, а впадины - на полпути между гребнями.

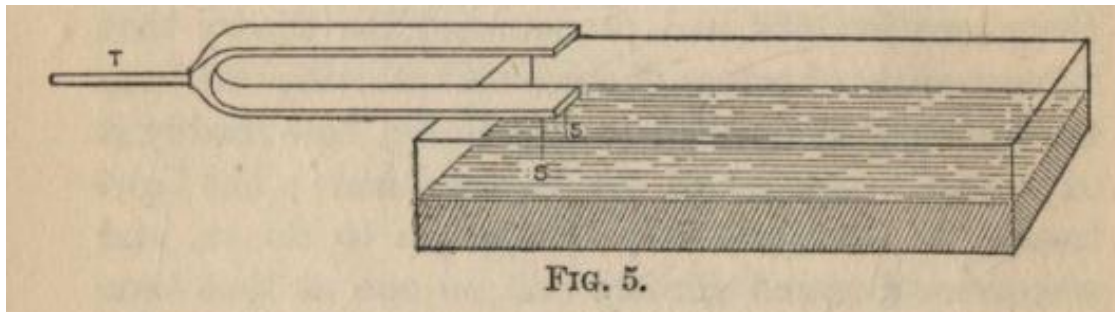


РИС. 5.

Рябь от одного стиля пересечет рябь от другого, и на ртути образуется любопытный узор, примерно такой, как на рис. 6. S S представляет положение двух стилей, в то время как простые кружки обозначают положение гребней, а пунктирные кружки - положение впадин в любой момент времени. Там, где пересекаются два ровных круга, очевидно, что обе системы ряби создают гребень, и поэтому они создают преувеличенный гребень. Аналогично, там, где пересекаются два пунктирных круга, получается преувеличенная впадина. Таким образом, в заштрихованных частях диаграммы мы получаем более сильную рябь, чем при использовании одного стиля. Однако там, где ровный круг пересекает пунктирный, одна система ряби образует гребень, а другая - впадину, и между ними ртуть не опускается ниже своего нормального уровня и не поднимается выше него. Таким образом, в этих точках эффект одной серии ряби просто нейтрализуется эффектом другой, и рябь не возникает вообще. Это происходит в незатененных областях диаграммы.

Взаимное разрушение эффектов двух наборов волн называется "Интерференцией".

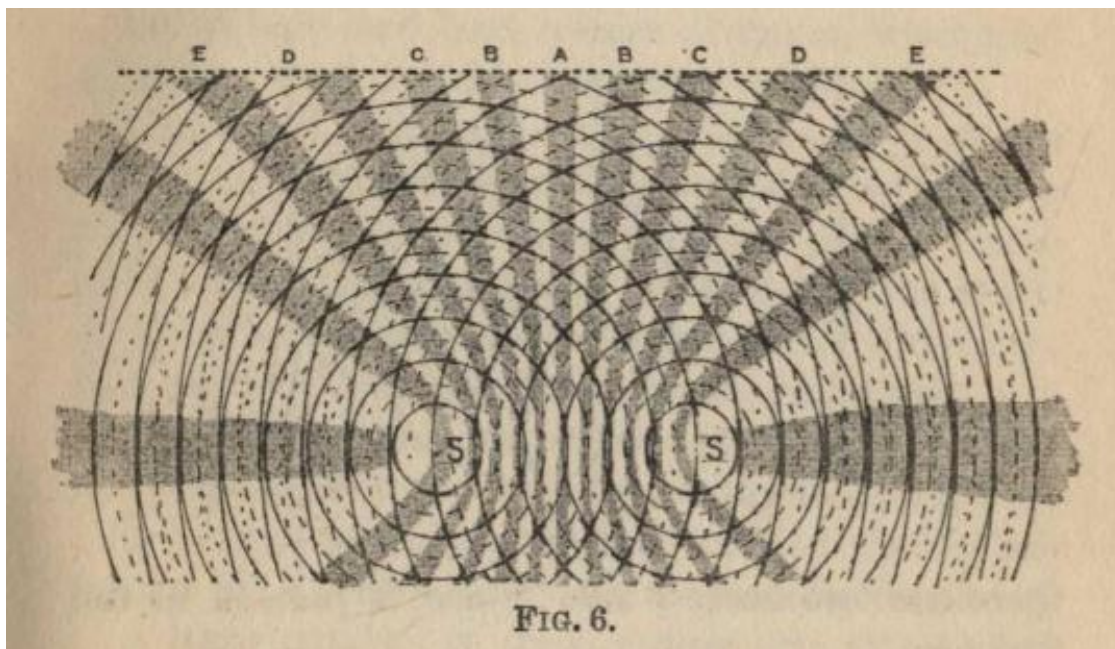


РИС. 6.

Теперь представьте ряд маленьких поплавков, расположенных вдоль линии EDCBABCDE. В точках, обозначенных буквами, поплавки будут сильно колебаться, но в точках, расположенных посередине между буквами, они будут неподвижны. Это в точности отражает эффект двух интерферирующих источников света S, S, посылающих свет, который принимается экраном на пунктирной линии EDCBABCDE. Точки, обозначенные буквами, будут ярко подсвечены, в то время как промежуточные точки будут темными.

На практике оказывается невозможным создать два источника света, вибрации которых начинаются в одно и то же время и в точности подобны, но эта трудность преодолевается использованием одного источника света и разделением исходящих от него волн на две части, которые интерферируют.

Эксперимент Янга.—Доктор Схема Янга схематически представлена на рис. 7.

Свет определенной длины волны пропускается через узкую щель S и перехватывается экраном, в котором имеются две узкие щели A и B, параллельные первой.

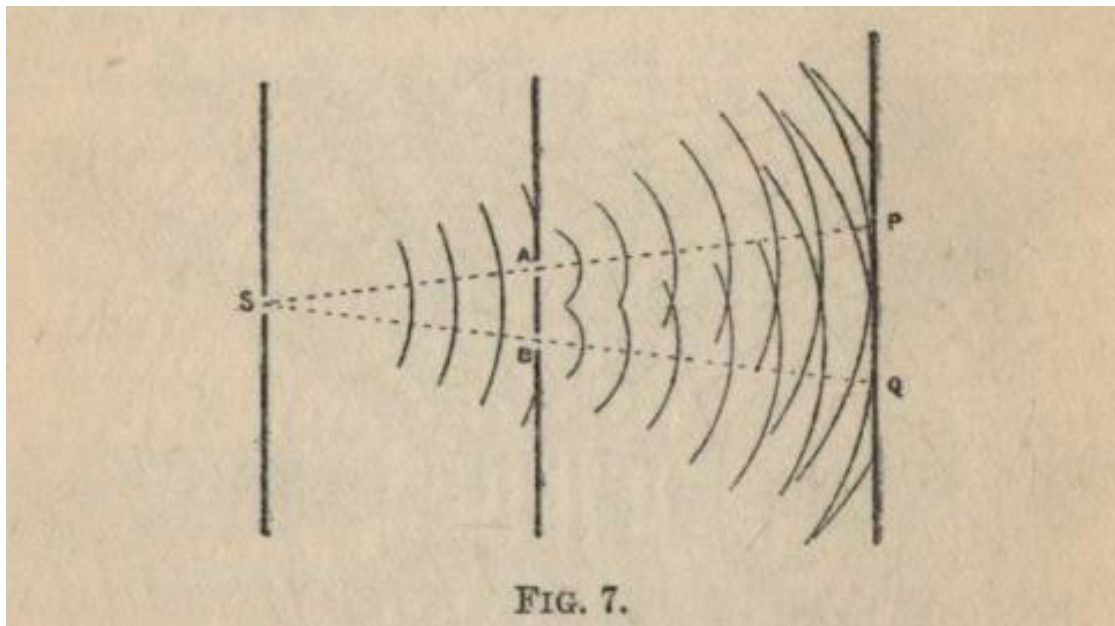


РИС. 7.

Экран пропускает свет, выходящий из двух щелей. Если бы старая корпускулярная теория была верна, то было бы две яркие полосы света, одна в точке P, а другая в точке Q, но вместо этого доктор Янг наблюдал целую серию параллельных ярких полос с темными промежутками между ними. Очевидно, что две небольшие доли исходных волн, которые проходят через A и B, распространяются от A и B и интерферируют точно так же, как если бы они были независимыми источниками, подобными двум стилям в эксперименте с рябью на ртути.

Скорость света в разреженных и плотных средах. Открытие интерференции снова выдвинуло волновую теорию на первый план, и в 1850 году Фуко нанес смертельный удар корпускулярной теории, показав, что свет распространяется медленнее в плотной среде, такой как стекло или вода, чем в легкой среде, такой как воздух. Это то, что предполагает волновая теория, в то время как корпускулярная теория предполагает обратное.

Но если свет и тепло состоят из волн, то что это за волны и как они возникают?

Теория упругого твердого тела.— На заре волновой теории предполагалось, что все пространство заполнено чем-то, что действует подобно упругому твердому материалу, в котором колебания атомов светящегося тела вызывают волны во всех направлениях, точно так же, как колебания мрамора, погруженного в желе, распространяют волны по желе. Эти волны довольно легко представить следующим образом.

Если заставить один конец эластичной струны колебаться взад-вперед, вдоль струны пройдет серия волн. Если большое количество таких струн прикрепить к колеблющейся точке и растянуть во всех направлениях, волны будут распространяться вдоль каждой струны, а если все струны абсолютно одинаковы, то вдоль всех них будут распространяться с одинаковой скоростью. Таким образом, любой конкретный гребень волны в любой момент времени будет лежать на поверхности сферы, центром которой является колеблющаяся точка. Если теперь мы представим, что струн так много, что они заполняют все пространство, мы получим представление о передаче волн упругим телом.

Электромагнитные волны.—С тех пор как Максвелл опубликовал свою электромагнитную теорию в 1873 году, повсеместно считалось, что тепло и свет состоят из электромагнитных волн.

Их ни в коем случае не так легко представить, как упругие волны, поскольку реального движения среды не происходит; среда движется вперед в переменном состоянии, а не в колебании положения.

Когда кусочек сургуча или эбонита протирают фланелью, он приобретает определенные свойства, которых у него раньше не было. Он привлечет легкие кусочки бумаги или сердцевины, которые поднесут к нему поближе, он оттолкнет такой же натертый кусочек сургуча или эбонита и притянет кварцевый стержень, натертый шелком.

Кварцевый стержень, натертый шелком, обладает тем же свойством притягивать легкие тела, что и эбонитовый стержень и стержень для сургуча, но он отталкивает другой натертый кварцевый стержень и притягивает натертый эбонитовый стержень или стержень для сургуча.

Положительная и отрицательная Электрификация.—Говорят, что эбонит наэлектризован отрицательно, а кварц - положительно.

Когда два стержня, один положительно, а другой отрицательно наэлектризованный, расположены рядом друг с другом, мы можем представить, что притяжение происходит из-за того, что они соединены натянутыми струнами, заполняющими все пространство вокруг них. Если поместить между ними очень маленькое положительно наэлектризованное тело, оно будет стремиться перемещаться от кварца к эбониту, т.е. в направлении, указанном стрелками.

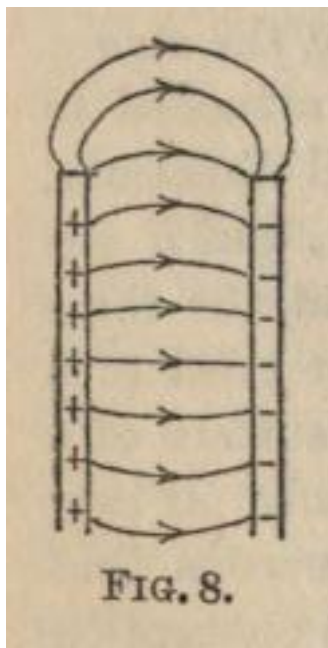


РИС. 8.

Электрическое поле. Силовые линии.—Пространство, окружающее наэлектризованные палочки, в котором заметны обусловленные ими силы, называется электрическим полем, а направление, в котором стремится двигаться маленькая положительно наэлектризованная частица, называется направлением поля. Линии, по которым будет двигаться небольшой положительный заряд, называются силовыми линиями.

Представление об электрическом поле как о состоящем из натянутых эластичных струн, конечно, очень грубое, но очевидно, что в среде электрического поля происходят некоторые изменения, которые в чем-то аналогичны ему.

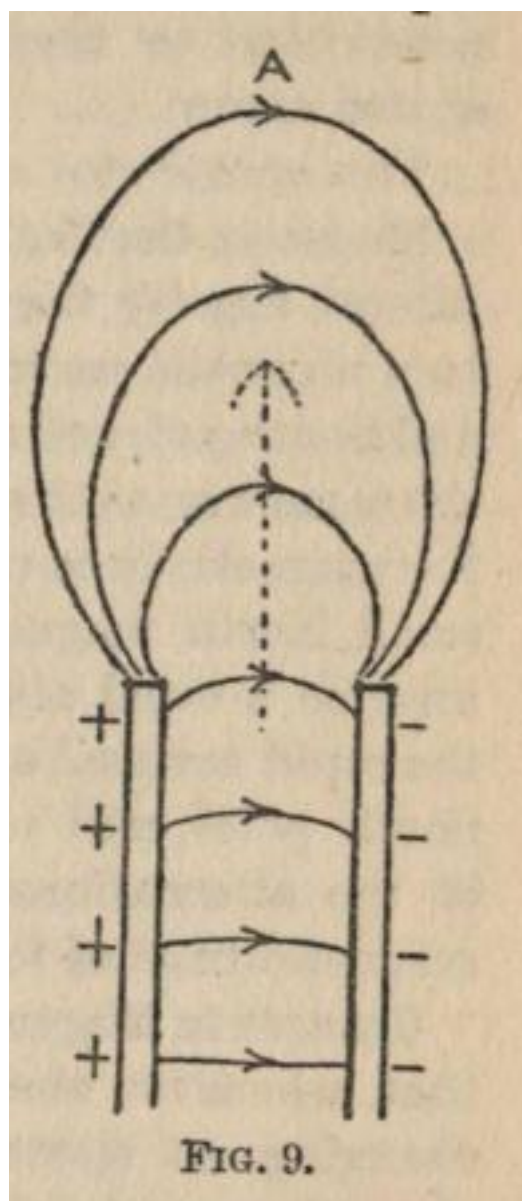


РИС. 9.

Электрические колебания.—Если положение двух стержней поменять местами, то, конечно, направление поля в точке между ними изменится на противоположное, и если это изменение будет повторяться быстро, у нас будет быстрое изменение направления поля. Если эти изменения становятся достаточно быстрыми, они передаются наружу во многом таким же образом, как колебания положения передаются обычной пульсацией. Таким образом, предположим, что два стержня внезапно оказываются в положении, указанном на диаграмме. Поле устанавливается не мгновенно, силовым линиям требуется короткое время, чтобы занять свои конечные положения. В течение этого времени силовые линии будут перемещаться наружу в направлении, указанном пунктирной стрелкой. Прежде чем они достигнут точки А, предположим, что положение стержней поменялось на противоположное. Затем направление линий меняется на противоположное, и эти перевернутые линии будут двигаться наружу по направлению к А, следуя по траектории исходных линий. Таким образом, непрерывная цепочка силовых линий, сначала в одном направлении, а затем в противоположном, будет двигаться перпендикулярно самим себе в направлении пунктирной стрелки.

Это представляет собой электрическую волну.

Магнитные колебания, силовые линии и поле.—Почти точно такое же описание применимо к магнитной волне. Пространство вблизи Северного и Южного полюсов магнита изменяется примерно таким же образом, как и пространство между наэлектризованными стержнями, а магнитные силовые линии - это линии, по которым будет двигаться небольшой Северный магнитный полюс. Мы можем представить себе быстрое изменение магнитного поля за счет быстрой смены положений Северного и Южного полюсов, и мы можем представить передачу изменений посредством прохождения магнитных силовых линий.

Изменения магнитного поля.— Но эксперимент показывает, что всякий раз, когда магнитное поле в каком-либо месте меняется, во время изменения возникает электрическое поле, и *наоборот*. Следовательно, электрические и магнитные волны всегда должны сопровождать друг друга, и эти два набора волн вместе составляют электромагнитные волны.

Огромное количество экспериментальных данных заставляет нас полагать, что именно эти волны составляют тепло, свет, электрические волны, используемые в беспроводной телеграфии, и невидимые ультрафиолетовые волны, которые так активно вызывают химические реакции.

Колебания электрических зарядов внутри атома.— Мы видели, как эти волны могут создаваться колебаниями двух наэлектризованных стержней, и предполагается, что свет, исходящий от светящихся тел, создается аналогичным образом. Есть много причин полагать, что в атомах всех веществ существуют мельчайшие отрицательно наэлектризованные частицы, которые могут вращаться по небольшим орбитам или колебаться взад-вперед внутри атома. Внутри атома также существует равный положительный заряд. Поскольку отрицательные частицы вращаются или колеблются в атоме, очевидно, что поле между ними и положительно наэлектризованной частью атома меняется, и таким образом излучаются электромагнитные волны.

ГЛАВА II

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВОЛН

Система ряби на поверхности воды появляется в вертикальном разрезе в любой момент, примерно как на рис. 10. Пунктирная линия АВ обозначает нетронутую поверхность пластины, а сплошная линия - саму поверхность. Если возмущение, вызывающее рябь, представляет собой колебание с совершенно регулярным периодом, то все отдельные волны будут одинаковыми, за исключением того, что они будут становиться мельче по мере удаления от возмущения.

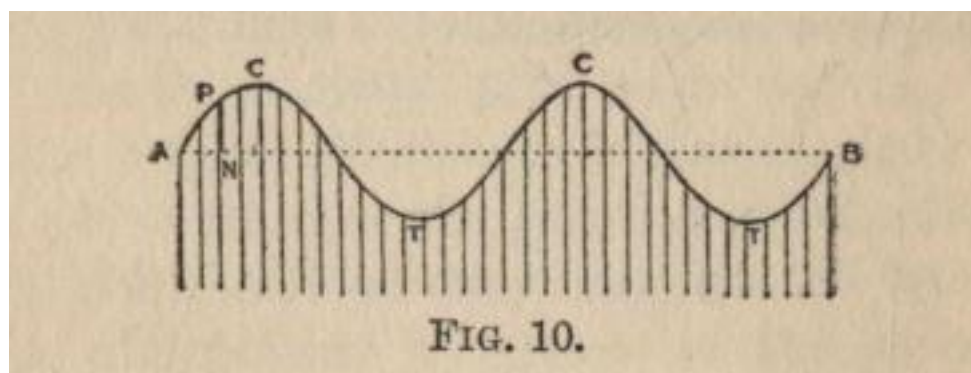


РИС. 10.

Длиनावолны.—Расстояние между двумя последовательными гребнями будет везде одинаковым, и это расстояние или расстояние между любыми двумя соответствующими точками на двух последовательных волнах называется длиной волны. Очевидно, длина волны - это расстояние, на котором повторяется вся волна.

Фаза.—Положение точки в волне называется фазой точки. Таким образом, разница в фазе между двумя точками А и С составляет четверть длины волны. По мере того, как волны движутся вдоль поверхности, становится очевидным, что каждая капля воды совершает колебания вверх и вниз, и в точках С, С капля достигла своего наивысшего положения, а в точках Т, Т - самого низкого.

Амплитуда.—Наибольшее смещение капли, т.е. расстояние от пунктирной линии до С или до Т, называется амплитудой волны. Время, необходимое капле для завершения одного полного колебания, т.е. время, необходимое волне для прохождения на целую длину волны вперед, называется периодом волны. Количество колебаний за одну секунду, т.е. количество длин волн, пройденных за одну секунду, называется частотой.

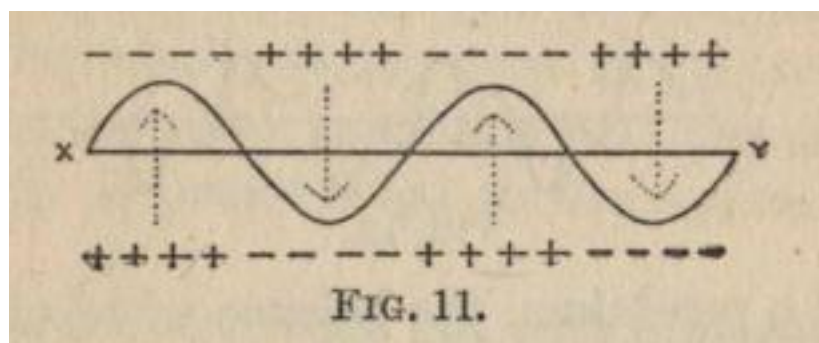


РИС. 11.

Хотя в волнах света и тепла нет видимого смещения, все же мы можем представить их во многом таким же образом. Таким образом, если АВ, рис. 10, представляет линию, по которой движется луч света, длина NP рисуется в масштабе, чтобы представлять величину электрического поля в точке N, и рисуется вверх от линии АВ, когда поле находится в одном направлении, и вниз, когда оно находится в противоположном направлении.

Таким образом, направление поля в разных точках волны ХУ, рис. 11, показано пунктирными стрелками, как будто из-за наэлектризованных стержней из кварца и эбонита, расположенных выше и ниже ХУ.

В случае электромагнитной волны, амплитуда будет максимальным значением, которого достигает электрическое поле в любом направлении, а другие термины — длина волны, фаза, период и частота - будут иметь то же значение, что и для водной ряби.

Форма волны.—Волны различаются не только по амплитуде, длине волны и частоте, но и по форме волны. Волны могут иметь любую форму, *например*, рис. 12. Или же у нас может быть одиночное нерегулярное возмущение, например, вызванное падением камня в воду.

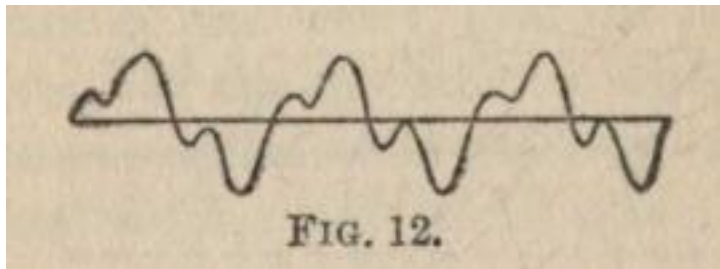


РИС. 12.

Но есть одна форма движения частицы в волне, которая рассматривается как самая простая и фундаментальная форма. Это та форма, которая создается качанием маятника, часового балансира, зубца камертона и большинством других колебаний, где управляющее усилие обеспечивается пружиной или каким-либо другим упругим телом.

Это называется "Простым гармоническим движением" или "Простым периодическим движением", и существенной его особенностью является то, что сила, возвращающая перемещенную частицу в ее невозмущенное положение, пропорциональна ее перемещению из невозмущенного положения. Волна, в которой все частицы совершают простое гармоническое движение, имеет форму, показанную на рис. 10 или рис. 11, которая, следовательно, рассматривается как фундаментальная волновая форма или простая волновая форма.

Простые волны будут различаться только по амплитуде, длине волны и частоте, и энергия волны будет зависеть от этих величин.

Энергия в простой волне.—Если скорость одинакова для всех длин волн, то частота, очевидно, будет обратно пропорциональна длине волны, а энергия будет зависеть от амплитуды и длины волны. Кинетическая энергия любого движущегося тела, *т.е.* энергия, обусловленная его движением, пропорциональна квадрату его скорости, и мы можем применить это к движению частиц в волне и показать, как энергия зависит от амплитуды и длины волны.

Поскольку расстояние, пройденное частицей за один период волны, будет равно четырехкратному увеличению амплитуды, скорость в любой точке волны должна быть пропорциональна амплитуде, и, следовательно, кинетическая энергия пропорциональна квадрату амплитуды.

При одинаковой амплитуде, но с разной длиной волны мы видим, что время, за которое завершается колебание, пропорционально длине волны и что скорость, следовательно, обратно пропорциональна длине волны. Таким образом, кинетическая энергия обратно пропорциональна квадрату длины волны.

Сложение волн.—Наложение двух волн таким образом, чтобы получить эффект обеих волн в одном и том же месте, выполняется очень просто. Смещения в любой точке, вызванные двумя волнами по отдельности, алгебраически складываются вместе, и эта сумма является фактическим смещением. На рис. 13 пунктирные линии представляют две простые волны, одна из которых имеет вдвое большую длину волны, чем другая. В любой точке Р на сплошной линии смещение PN равно алгебраической сумме смещений NQ, вызванных одной из волн, и NR, вызванных другой. Таким образом, сплошная линия представляет результирующую волну. Мы можем повторить этот процесс для любого количества простых волн, и, соответствующим образом выбрав длину волны и амплитуду простых волн, мы можем создать волну любой желаемой формы. Математик Фурье показал, что любая форма волны, даже единичное нерегулярное возмущение, таким образом, может быть выражена как сумма серии простых волн и что длины волн этих простых волн равны исходной длине волны, ее половине, одной трети, одной четверти, одной пятой и так далее в бесконечном ряду. Фурье также показал, что для любой конкретной формы волны возможен только один такой ряд.

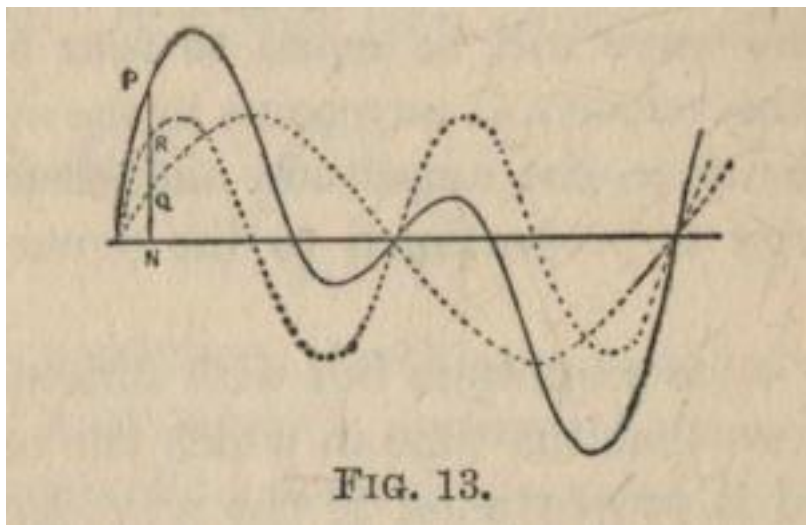


РИС. 13.

Важность этого математического выражения заключается в том факте, что несколькими способами ряд простых волн Фурье создается из исходной волны, и различные члены ряда становятся разделенными. Таким образом, наиболее полезный способ, которым мы можем представить любую волну, - это не нарисовать фактическую форму волны, а представить, какие простые волны формируют ее, и показать, сколько энергии содержится в каждой конкретной простой волне.

Кривая зависимости энергии от длины волны.—Это можно сделать довольно просто, как показано на рис. 14. Расстояние PN от нарисованной линии OA масштабируется для представления энергии в простой волне, длина которой представлена через ON.

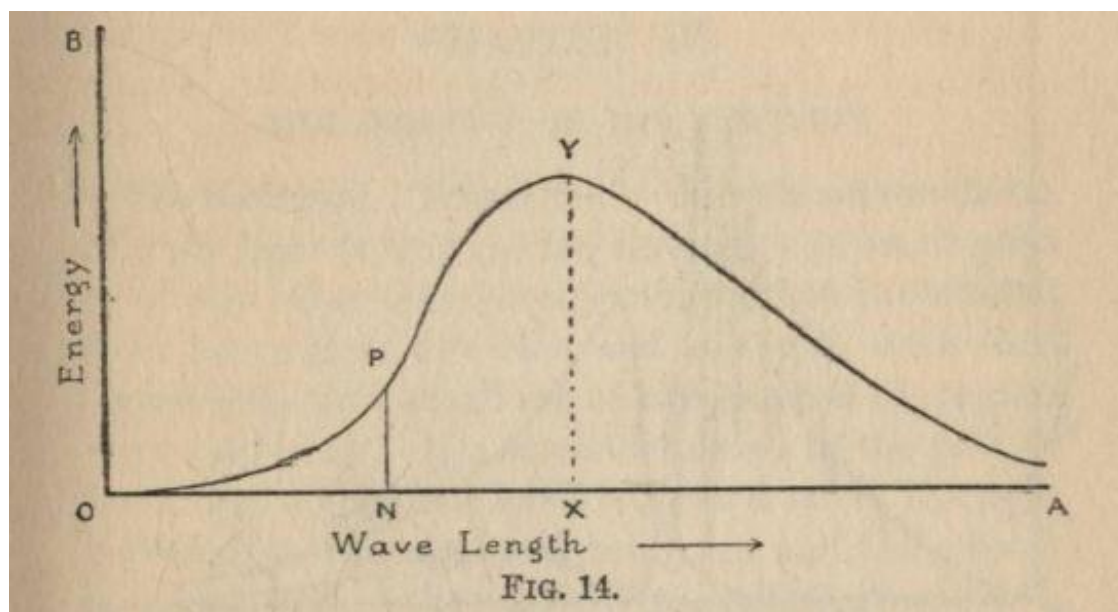


РИС. 14.

Таким образом, простая волна длиной OX содержит наибольшее количество энергии.

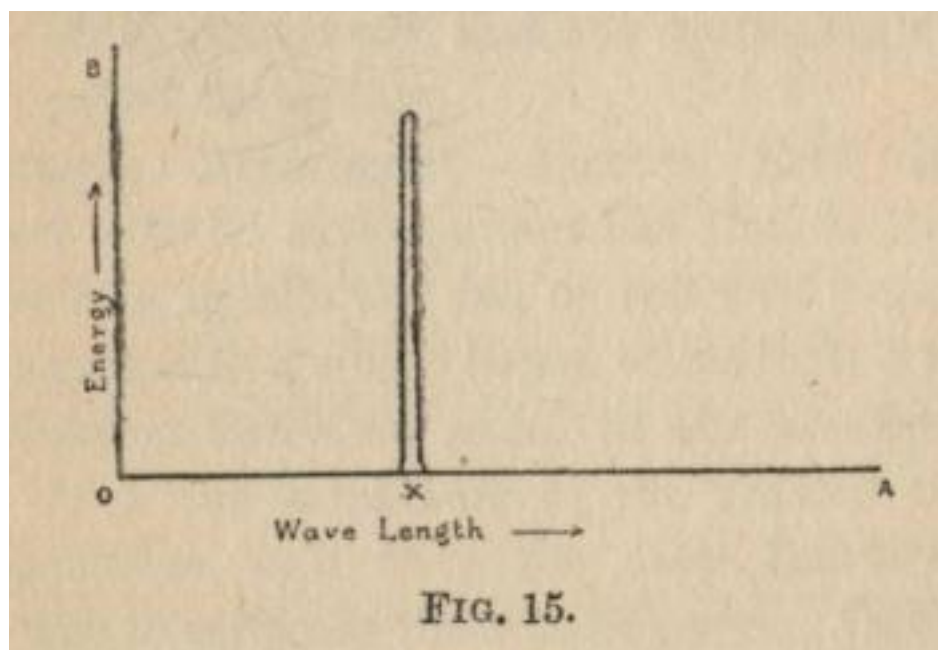


РИС. 15.

На рис. 15 стена представляет собой простую волну длиной OX, энергия всех остальных волн равна нулю.

Три кривые, приведенные на рис. 16, позволяют сравнить волны от солнца, дуговой лампы и обычной газовой горелки.

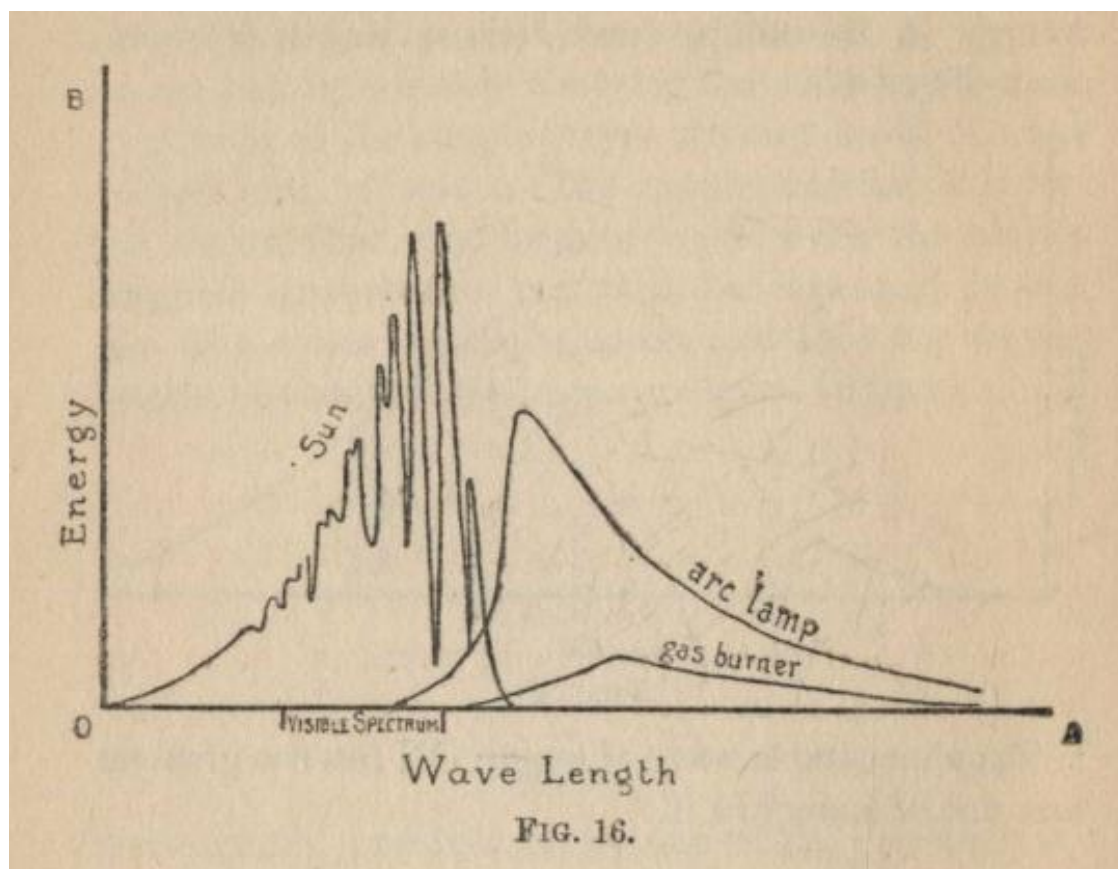


РИС. 16.

ГЛАВА III

ЗНАЧЕНИЕ СПЕКТРА

Спектр. Дисперсия.—Когда узкий луч белого света проходит через призму из стекла или любого другого прозрачного вещества, он отклоняется от своего первоначального направления и в то же время распадается на небольшой веер лучей вместо того, чтобы оставаться одним лучом. Если на пути этих лучей поместить экран, на нем образуется цветная полоса, наименее отклоняемая часть которой является красной, а цвета варьируются от красного до оранжевого, желтого, зеленого, синего и индиго, до фиолетового на наиболее отклоняемом конце полосы. Эта цветовая полоса называется спектром используемого белого света, а распространение лучей называется дисперсией.

Эксперимент Ньютона.—Ньютон впервые обнаружил этот факт с помощью устройства, подобного приведенному на рис. 17.

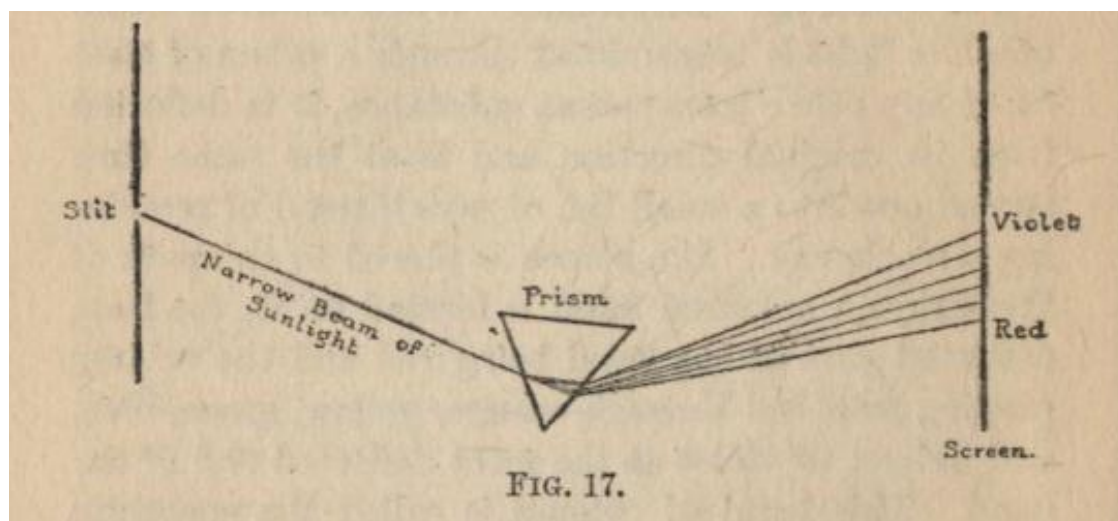


РИС. 17.

Если каким-либо образом веер цветных лучей снова объединить в единый луч, белый свет преобразуется, и поэтому Ньютон пришел к выводу, что белый свет представляет собой смесь различных цветов спектра и что единственной функцией призмы является разделение составляющих. О природе составляющих Ньютон знал мало, поскольку он отверг волновую теорию, которая единственная могла дать ключ к разгадке.

Теперь мы считаем, что белый свет - это нерегулярная волна, и что призма создает из него серию волн Фурье, которой она эквивалентна. Предполагается, что изготовление осуществляется с помощью принципа резонанса. В качестве примера резонанса давайте слегка постучим по маятнику, когда он начинает каждое колебание. Затем, поскольку нажатия рассчитаны по времени так, что каждое из них на небольшую величину увеличивает раскачивание маятника, они очень скоро заставят маятник раскачиваться очень сильно, даже если эффект от одного нажатия едва ли можно будет заметить вообще.

Таким образом, когда любое тело, имеющее свободный период вибрации, подвергается периодическим импульсам того же периода, что и его собственное, оно будет вибрировать очень энергично и поглощать почти всю энергию импульсов.

Электроны и их колебания.—Существуют убедительные доказательства того, что в атомах всех веществ, а следовательно, и в стекле, из которого состоит призма, имеется ряд мельчайших отрицательно наэлектризованных частиц, которые называются электронами. Они удерживаются на своем месте благодаря положительному заряду на остальной части атома, и если их каким-либо образом сместить со своих обычных положений, они будут вибрировать вокруг этих положений. Время колебания электрона будет зависеть от его положения в атоме и от положения соседних атомов. В твердых или жидких телах соседние атомы расположены настолько близко, что они оказывают значительное влияние на изменение периода электрона или системы электронов, и, следовательно, мы можем обнаружить почти любой период колебаний в том или ином из этих электронов или систем.

Когда волна света с ее переменными электрическими полями достигает призмы, поле сначала смещает электроны в одном направлении, затем в другом, и так далее. Если период одного

определенного типа электронов случайно совпадет с периодом волны, этот электрон будет сильно вибрировать и, в свою очередь, испустит серию волн в стекле. Если волна будет нерегулярной, она заставит вибрировать все электроны, но наиболее сильно будут вибрировать те электроны, периоды которых равны периодам составляющих Фурье, обладающих наибольшей энергией. Таким образом, мы фактически получим составляющие волны Фурье, разделенные на колебания различных электронов. Но скорость, с которой любая простая волна распространяется в стекле или в любой прозрачной среде, отличной от вакуума, зависит от ее периода.

Чем короче период, *т.е.* чем короче длина волны, тем медленнее скорость в большинстве прозрачных веществ. Но чем медленнее скорость в призме, тем больше отклоняется луч, и поэтому мы приходим к выводу, что фиолетовый конец спектра состоит из самых коротких волн, в то время как красный конец состоит из самых длинных волн, и что разные части спектра представляют собой простые волны разного периода.

Весь спектр.—Однако видимый спектр ни в коем случае не является всей серией волн Фурье. Глаз чувствителен только к очень небольшому диапазону периодов, в то время как у солнечного света диапазон во много раз больше.

Эти волны с более коротким периодом, чем фиолетовый конец видимого спектра, будут отклоняться еще больше, чем фиолетовый, и, следовательно, будут находиться за пределами фиолетового. Они называются ультрафиолетовыми лучами, и их можно легко обнаружить по их химической активности. Они вызывают свечение ряда веществ, и поэтому при покрытии экрана, на котором принимается спектр, одним из этих веществ фиолетовая часть спектра расширяется за счет этого свечения.

Волны с более длительным периодом, чем у красных лучей, будут отклоняться меньше, чем красные, и, следовательно, будут находиться за красным концом видимого спектра. Они называются инфракрасными лучами и примечательны главным образом своим нагревающим эффектом.

Все лучи поглощаются, когда они падают на совершенно матовую черную поверхность, и их энергия преобразуется в тепло. Этот эффект нагрева обеспечивает наилучший способ измерения энергии в различных частях спектра и, таким образом, построения кривых, аналогичных приведенным на рис. 16. Обычно используемый инструмент называется болометром Лэнгли. Он состоит из тонкой полоски почерневшей платины, которую по желанию можно поместить в любую часть спектра и, таким образом, поглощать волны в очень малом диапазоне длин волн. Он нагревается с помощью них, и повышение температуры определяется путем измерения электрического сопротивления полосы. Электрическое сопротивление всех проводников меняется в зависимости от температуры, и поскольку сопротивление может быть измерено с предельной точностью, это создает очень чувствительный и точный метод.

Спектр раскаленного твердого или жидкого вещества.—Спектры, полученные от различных источников света, демонстрируют определенные заметные различия.

Раскаленное добела твердое вещество или жидкость дают непрерывный спектр, *т.е.* Представлены все волны разной длины, но та часть спектра, которая обладает наибольшей энергией, различна для разных веществ и при разных температурах: ср. дугу и газовое пламя на рис. 16. Это вполне соответствует уже высказанной идее о том, что в твердых телах и жидкостях

присутствуют электроны почти с любым периодом колебаний. Когда они перемешиваются при нагревании, возникает смесь простых волн всех периодов, образующих очень нерегулярную волну.

Газы также могут раскаляться. Таким образом, когда любое соединение натрия помещают в бесцветное пламя, пламя приобретает интенсивно-желтый цвет. Это происходит из-за паров натрия, и возбуждение электронов в нем, вероятно, связано с химическим действием, при котором соединение расщепляется на натрий и некоторые другие части.

Мы также можем накаливать газ, поместив его при низком давлении в вакуумную трубку и пропустив через нее электрический разряд. Свечение в трубке дает спектр газа. Раскаленные газы дают очень характерный вид спектра. Обычно он состоит из ограниченного числа узких линий, остальная часть спектра почти абсолютно темная. Следовательно, свет состоит из нескольких простых волн с совершенно определенным периодом. Это наводит на мысль, что в атоме газа есть всего несколько электронов, которые участвуют в излучении световых волн.

Таким образом, спектры газов и раскаленных твердых тел представлены в виде кривых на рис. 18.

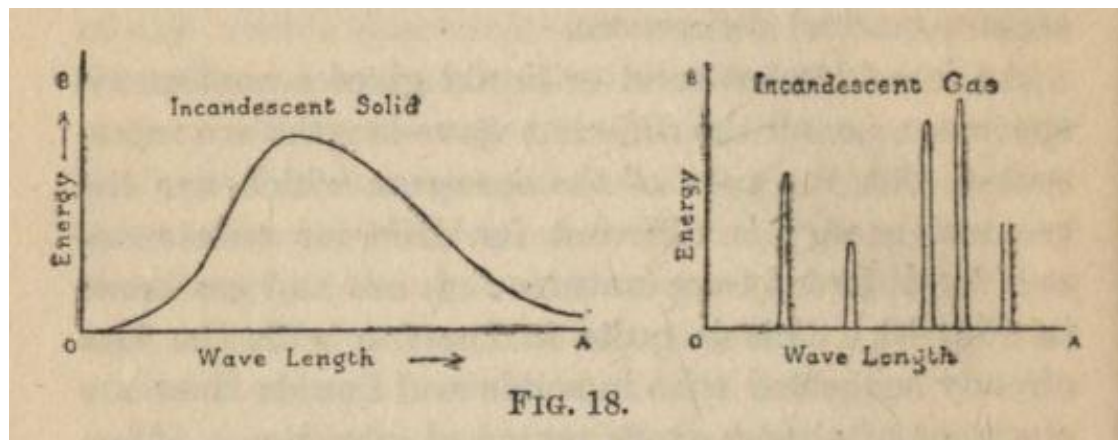


РИС. 18.

Спектральный анализ.—Линии в газовом спектре настолько четко очерчены и настолько определенно характерны для конкретного газа, что они служат тонким методом определения присутствия некоторых элементов. Эти спектры, которые излучаются телами накаливания, называются спектрами излучения. Но разные материалы не только излучают разные виды света при накаливания, но и по-разному поглощают свет, когда он проходит через них.

Когда белый свет пропускают через некоторые прозрачные твердые тела или жидкости, а затем через призму, обнаруживается, что целые области спектра отсутствуют. Таким образом, не слишком концентрированный раствор перманганата калия поглощает всю среднюю часть спектра, позволяя проходить красным и синим лучам. Поскольку в твердых телах и жидкостях области поглощения большие и несколько нечетко очерчены, спектры поглощения не имеют большого значения для обнаружения веществ.

Спектры поглощения газов демонстрируют те же четко очерченные характеристики, что и спектры излучения. Таким образом, если белый свет от дуговой лампы проходит через пламя, окрашенное парами натрия в желтый цвет, спектр излучаемого света имеет две четко

очерченные узкие темные линии, расположенные близко друг к другу в желтой части спектра в точно том же положении, что и две ярко-желтые линии, которые выделяют сами пары натрия накаливания. Следовательно, пламя поглощает только те волны, которые оно излучает. Это совершенно общий принцип, который применим к твердым телами жидкостям, а также к газам. Это полностью соответствует нашему представлению о преломлении света в результате резонанса электронов с составляющими Фурье, которые имеют одинаковый период. Ибо, если электроны имеют определенный период колебаний, они будут реагировать на волны этого периода и, следовательно, поглощать их энергию.

Спектр Солнца.—Один из наиболее интересных примеров поглощения раскаленными газами их собственных характерных линий дает солнце. Спектр солнца пересекает большое количество тонких темных линий, которые были нанесены на карту Фраунхейфером и поэтому называются линиями Фраунхейфера. Обнаружено, что эти линии находятся в положении характерных линий ряда известных элементов, и поэтому мы предполагаем, что эти элементы присутствуют на солнце. Внутренняя часть солнца жидкая или твердая из-за давления массы вокруг него. Поэтому оно излучает непрерывный спектр. Но свет должен проходить через внешние слои раскаленного пара, и эти слои поглощают из света характерные волны и, таким образом, создают темные линии в спектре.

Спектры звезд имеют те же характеристики, что и у солнца, и поэтому мы предполагаем, что они находятся в том же состоянии, что и солнце.

Спектры туманностей состоят только из ярких линий, и поэтому мы предполагаем, что туманности состоят из раскаленных газовых масс, которые еще недостаточно остыли, чтобы иметь жидкие или твердые ядра.

ГЛАВА IV

ЗАКОНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

Поглощающая способность.— Идеально матово-черная поверхность - это просто поверхность, которая поглощает весь падающий на нее свет и не отражает и не рассеивает его обратно. Если поверхность полностью поглощает тепло, а также свет, ее называют совершенным или полноценным поглотителем. Другие поверхности поглощают лишь часть тепла и света, падающих на них, и эта доля, выражаемая обычно в процентах, называется поглощающей способностью поверхности. Поглощающую способность различных типов поверхностей можно измерить множеством способов, но следующие можно считать довольно типичными. Совершенно устойчивый луч тепла и света падает на небольшой металлический диск, и количество тепла, которое поглощается в секунду, рассчитывается исходя из массы металла и

скорости повышения его температуры. Диск сначала покрывается лампово-черным лаком, и скорость, с которой он затем получает тепло, принимается за скорость, с которой полный поглотитель поглощает тепло в этих условиях. Затем на диск наносят поверхность, поглощающую способностью которой необходимо измерить, и эксперимент повторяют. Тогда скорость, с которой поступает тепло во втором случае, деленная на скорость, с которой оно поступает в первом, представляет собой поглощающую способность второй поверхности. Эксперименты с большим количеством поверхностей показывают, что чем светлее цвет и чем более полированной является поверхность, тем меньше ее поглощающая способность.

Мощность излучения.—Но характер поверхности влияет не только на скорость поглощения тепла и света, но и на скорость их излучения. Например, если мы нагреем фрагмент фарфоровой тарелки с рисунком ивы в пламени паяльной трубки до ярко-красного цвета, мы заметим, что темный узор теперь выделяется ярче остальных. Таким образом, темный узор, который поглощает больше света, падающего на него, когда он холодный, излучает больше света, чем остальная часть пластины, когда она горячая. Это один из примеров общего правила, поскольку установлено, что самые совершенные поглотители являются самыми мощными излучателями, *и наоборот*. Поэтому идеально черная поверхность принимается за стандарт при измерении тепла и света, излучаемых поверхностями, точно так же, как и для поглощения тепла и света. Таким образом, излучающая способность поверхности определяется как количество тепла, излучаемого поверхностью в секунду, деленное на количество, излучаемое в секунду абсолютно черной поверхностью при тех же условиях. Поскольку несколько парадоксально называть поверхность абсолютно черной, когда она может быть даже раскалена добела, в качестве альтернативы был предложен термин "полный радиатор", который будет использоваться в этой книге.

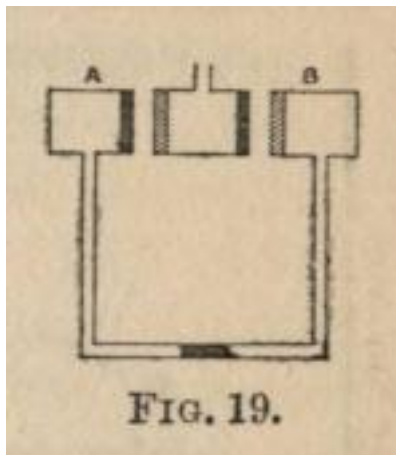


РИС. 19

Соотношение между поглощающей и излучающей способностями. Точное соотношение между поглощающей и излучающей способностями поверхности было впервые определено Ричи с помощью остроумного эксперимента. Две равные герметичные металлические камеры А и В были соединены стеклянной трубкой, согнутой вдвое под прямым углом, как на рис. 19. Капля ртути в горизонтальной части этой трубки служила индикатором. Когда один из сосудов становился горячее другого, воздух в нем расширялся, и ртутный показатель смещался в сторону более холодной стороны. Между двумя металлическими камерами была установлена третья такая же камера, которую можно было нагревать, заливая в нее кипящую воду, и, таким

образом, она могла служить радиатором для двух других. Одна поверхность этого излучателя была покрыта лампово-черной краской, а противоположная - исследуемой поверхностью, например, киноварью. Внутренние поверхности двух других сосудов были покрыты таким же образом: один - лампово-черным, другой - киноварью. Средний сосуд сначала помещали так, чтобы затемненная лампой поверхность была противоположна поверхности, окрашенной киноварью, и наоборот. В этом положении, когда в него наливали горячую воду, никакого движения капли ртути обнаружено не было, и, следовательно, количество тепла, получаемого двумя внешними сосудами, должно было быть точно равным. С одной стороны, тепло, выделяемое киноварной поверхностью среднего сосуда, составляет лишь часть, равную его излучающей способности, от тепла, выделяемого черной поверхностью. Однако все тепло, отдаваемое поверхностью киновари противоположной черной поверхности, поглощается, в то время как от тепла, отдаваемого черной поверхностью противоположной поверхности киновари, поглощается только часть, равная поглощающей способности поверхности киновари. Таким образом, с одной стороны, выводится только часть, но вся она поглощается, а с другой стороны, выводится вся и поглощается только часть. Поскольку поглощаемые количества точно равны, очевидно, что две доли должны быть точно равны, или поглощающая и излучающая способности любой поверхности точно равны. Этот результат известен как закон Кирхгофа, и он применим исключительно к излучению, вызванному температурой. Более поздние эксперименты показали, что это применимо к каждой отдельной длине волны, т.е. к любой части спектра, которую мы выделяем, а также ко всему излучению. Таким образом, при любой конкретной температуре пусть пунктирная линия на рис. 20 представляет кривую зависимости длины волны от энергии для полного излучателя, а сплошная линия представляет ее для исследуемой поверхности. Тогда для любой длины волны мощность излучения поверхности была бы равна QN , деленная на PN .

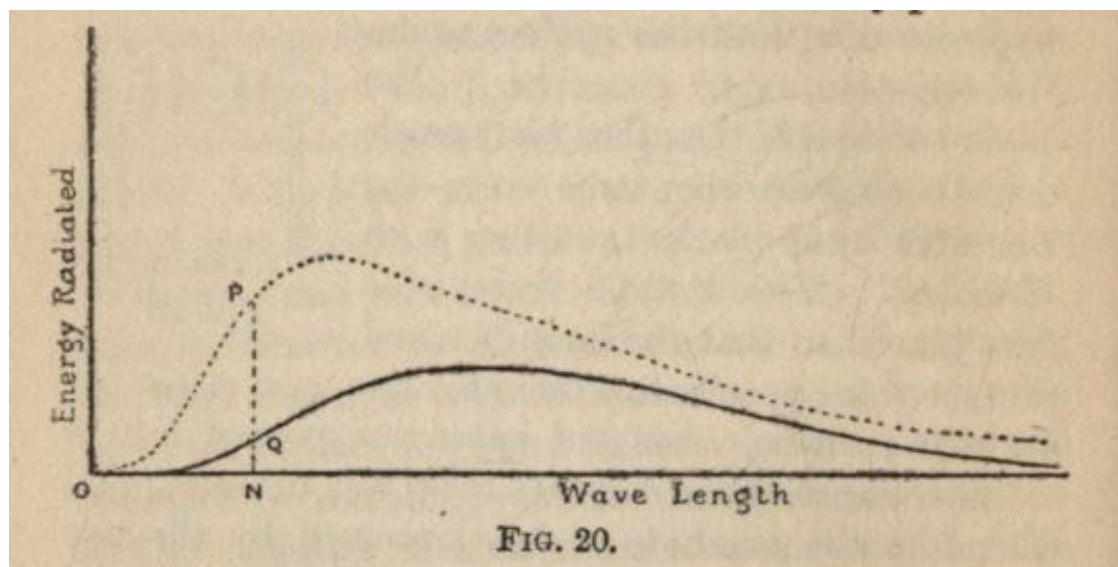


РИС. 20.

Теперь кривую зависимости длины волны от энергии можно так же легко построить для поглощенного, как и для испускаемого излучения с помощью болометра Лэнгли. Полоска болометра сначала покрывается ламповой сажей, и спектр падающего излучения исследуется точно таким же образом, как описано в главе III. Затем на полоску наносят исследуемую поверхность и снова исследуют спектр. Поскольку падающее излучение в двух экспериментах

совершенно одинаково, различия в количестве поглощаемого тепла должны быть обусловлены исключительно разницей в поглощающей способности двух поверхностей. На рис. 21 пунктирной линией показана кривая зависимости длины волны от энергии излучения, поглощаемого зачерненной полосой болометра, а сплошной линией - кривая полосы, покрытой исследуемой поверхностью.

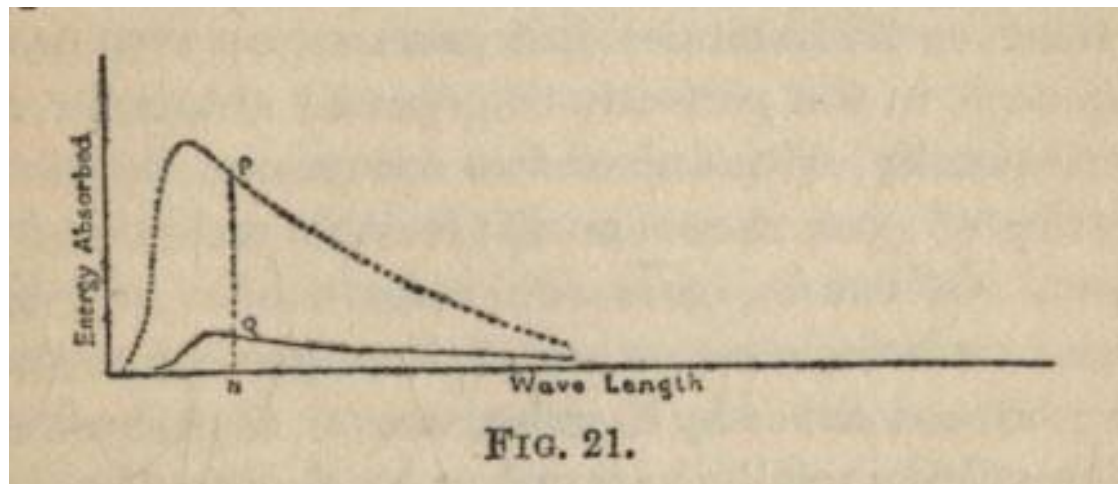


РИС. 21.

Фактическая форма кривых может и, вероятно, будет сильно отличаться от формы на рис. 20, но для той же длины волны будет обнаружено, что PN/QN в точности одинаковы на двух рисунках.

Уже упоминалось, что матовые поверхности темного цвета излучают больше всего тепла, а полированные - меньше всего. Поэтому радиатор для обогрева помещения должен иметь матовую, темную поверхность, в то время как сосуд, предназначенный для предотвращения потери тепла его содержимым, должен иметь тщательно отполированный внешний вид.

Совершенно прозрачное вещество не будет излучать никакой энергии, независимо от температуры, до которой оно поднято, поскольку его поглощающая способность равна нулю, и, следовательно, его излучающая способность также равна нулю. Идеально прозрачных веществ не существует, но некоторые вещества очень близки к этому. Расплавленный шарик микрокосмической соли, нагретый в маленькой петельке из платиновой проволоки в пламени паяльной трубки, может быть нагрет до такой температуры, что на платиновую проволоку будет довольно больно смотреть, хотя сам шарик вообще едва виден. Любая крупинка металлической пыли на поверхности бусины при этом засияет, как яркая звезда.

Газы как излучатели.—Большинство газов еще ближе подходят к идеально прозрачному веществу, и, следовательно, за одним или двумя исключениями, простое нагревание газов не вызывает их заметного излучения. Конечно, газы при некоторых обстоятельствах излучают тепло и свет, но излучение, по-видимому, возникает либо в результате химического воздействия, как в пламени, окрашенном парами металлов, либо в результате электрического разряда, как в вакуумных лампах, дуге или электрической искре.

Таким образом, возбуждение электронов в газах происходит по-другому, и мы не должны применять к ним закон Кирхгофа, хотя на первый взгляд кажется, что они ему соответствуют. Мы видели, что особые волны, излучаемые раскаленным газом, также поглощаются им. Этого мы должны ожидать, потому что конкретный электрон, который имеет такой период вибрации, что

он посылает волну определенной длины, естественно, будет настроен на точно такие же волны, которые падают на него, и будет таким образом отражаться от них и поглощать их энергию. Однако количественный закон, согласно которому поглощающая способность в точности равна излучающей, неверен для газов.

Излучение поляризованного света.— Одним из очень интересных результатов закона Кирхгофа является излучение поляризованного света светящимся турмалином и одним или двумя другими кристаллами, когда они нагреваются до накала. При обычном освещении колебания происходят во всех направлениях, перпендикулярных линии, по которой проходит свет, то есть колебания в любой точке происходят в плоскости, перпендикулярной этой линии. Теперь любая вибрация в плоскости может быть выражена как сумма двух составляющих колебаний, одной составляющей в одном направлении, а другой - в перпендикулярном направлении. Если мы разделим колебания по всей длине волны таким образом, то получим две волны, одна из которых имеет все свои колебания в одном направлении, а другая - в перпендикулярном направлении. Такие волны, в которых все колебания лежат в одной плоскости, называются плоскополяризованными.

Турмалин обладает любопытным свойством поглощать колебания в одном направлении кристалла гораздо быстрее, чем колебания, перпендикулярные этому направлению, и поэтому свет, проходящий через него, частично, а в некоторых случаях и полностью, становится плоскополяризованным.

Поскольку поглощающая способность турмалина различна для двух компонентов, излучающая мощность также должна быть разной, и тот компонент, который был наиболее поглощен, должен излучаться наиболее сильно. Это было подтверждено самим Кирхгофом, который обнаружил и приблизительно измерил излучаемый поляризованный свет. Впоследствии, в 1902 году, Пфлюгер провел точные эксперименты, которые дали прекрасное подтверждение этого закона.

ГЛАВА V

ПОЛНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Полный радиатор.— Мы предположили, что затемненная поверхность является идеальным поглотителем и, следовательно, полноценным излучателем, но, хотя это очень близкое приближение к идеалу, оно не совсем идеально. Ни одна реальная поверхность не является полностью заполненным радиатором, но точный эквивалент его был получен с помощью остроумного устройства. Почерневший изнутри полый сосуд имеет небольшое отверстие, через

которое может выходить излучение изнутри сосуда. Следовательно, если сосуд нагрет, маленькое отверстие может действовать как излучатель. Излучение, которое выходит через отверстие из любой небольшой области внутри сосуда, состоит из двух частей: одна часть, которую оно излучает само, и другая часть, которую оно рассеивает обратно от излучения, которое оно получает от других частей внутренней части сосуда. Эти два показателя вместе равны энергии, излучаемой полным излучателем, и, следовательно, маленькое отверстие действует как полный излучатель: *например*, предположим, что внутренняя поверхность имеет поглощающую способность 90%, тогда она излучает 90% всего излучения и поглощает 90%. следовательно, 10% излучения, поступающего к нему, рассеивается обратно. Следовательно, мы имеем 90% излучения, поступающего с внутренней поверхности. излученный и 10 процентов. рассеянный, а излученный и рассеянный вместе составляют 100 процентов.

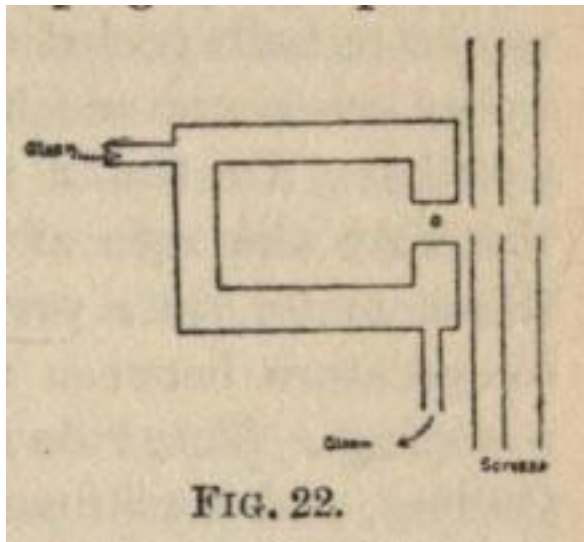


РИС. 22.

Одна из форм, в которой использовались такие радиаторы, показана в разрезе на рис. 22. Цилиндрический сосуд с двойными стенками из латуни имеет небольшое отверстие, *a*, на одном конце. Пар может пропускаться через пространство между двойными стенками, таким образом поддерживая температуру внутренней поверхности на уровне 100°C . Экран с отверстием прямо напротив отверстия в сосуде, или, скорее, несколько таких экранов, размещены перед сосудом, чтобы защитить любой измерительный прибор от любого излучения, кроме того, которое выходит через отверстие.

Полный Поглотитель. Точно таким же образом отверстие в поломанном сосуде будет действовать как полноценный поглотитель, поскольку часть падающего излучения, которая рассеивается на внутренней поверхности, снова попадает на другую часть поверхности, и таким образом, в конечном итоге поглощается все, за исключением ничтожной доли, которая снова рассеивается через отверстие.

Изменение тепла, излучаемого полным излучателем при различных температурах, является очень важной частью изучения излучения, и этому было посвящено очень большое количество экспериментов и теоретических исследований. Эти исследования можно разделить на две части: те, которые касаются общего количества тепла, излучаемого при различных температурах, и те, которые связаны с изменением характера спектра при различных температурах.

Эксперименты, описанные в первом разделе, проводились в основном двумя способами. В первом случае была определена скорость охлаждения всего радиатора, и на основе скорости охлаждения при любой температуре была немедленно рассчитана скорость, с которой тепло терялось за счет излучения. Ньютон был первым, кто провел исследование таким образом, наблюдая скорость, с которой остывала колба термометра, когда она была окружена оболочкой, в которой поддерживалась равномерная температура. Он обнаружил, что скорость охлаждения и, следовательно, скорость, с которой термометр теряет тепло, пропорциональна разнице температур между термометром и окружающей средой. Это правило известно как Закон охлаждения Ньютона и до сих пор используется, когда требуется скорректировать потерю тепла во время эксперимента, когда разница температур невелика. Однако это верно только для очень небольших разниц температур между термометром и окружающей средой, и еще в 1740 году Мартин обнаружил, что это верно только для очень ограниченного диапазона температур.

Теория обменов Прево.—В 1792 году Прево из Женевы, пытаясь объяснить предполагаемое излучение холода, выдвинул идею о том, что любое тело не следует рассматривать как излучающее тепло только тогда, когда его температура падает, или поглощающее тепло только тогда, когда его температура повышается, но что оба процесса происходят постоянно и одновременно. Количество излучаемого тепла будет зависеть от температуры и характера самого тела, в то время как количество поглощаемого будет зависеть от состояния окружающей среды, а также от природы тела. Если количество излучаемого тепла больше, чем количество поглощаемого, температура тела упадет, и *наоборот*. Этот взгляд Прево называется Теорией обменов, и мы можем видеть, что он является необходимым следствием наших идей о производстве тепловых и световых волн путем возбуждения электронов в излучающем теле.

Если измеряется скорость охлаждения тела при определенной температуре, когда оно помещается в камеру с более низкой температурой, следует иметь в виду, что скорость потери тепла равна скорости, с которой излучается тепло, минус скорость, с которой оно поглощается из камеры.

Второй способ измерения тепловых потерь тела при различных температурах заключается в нагревании проводника, такого как тонкая платиновая полоска, с помощью электрического тока и измерении температуры, которой достиг проводник. Когда его температура стабильна, вся энергия, передаваемая ему током, должна теряться в виде тепла, и поэтому электрическая энергия, которую можно очень легко рассчитать, должна быть равна теплу, излучаемому корпусом, за вычетом тепла, получаемого от корпуса.

Было предпринято так много попыток установить с помощью того или иного из этих двух методов связь между количеством излучаемого тепла и температурой, что невозможно дать даже мимолетную ссылку на большинство из них. К сожалению, результаты не согласуются друг с другом, как нам хотелось бы, но, вероятно, наиболее правильным результатом является тот, который был сформулирован Стефаном в 1878 году после тщательного изучения результатов экспериментов Дюлонга и Пети. Он заявил, что количество тепла, излучаемого в секунду полным радиатором, пропорционально четвертой степени его абсолютной температуры.^[1] Таким образом, количество тепла, излучаемого одним квадратным сантиметром поверхности полного излучателя, абсолютная температура которого равна T , равно ET^4 , где E - некоторый постоянный множитель, который должен быть определен экспериментально и который

называется постоянной излучения. Если абсолютная температура помещения, в которое помещена поверхность, равна T , то скорость, с которой поверхность теряет тепло, будет равна $E(T^4 - T_1^4)$, поскольку она будет получать тепло со скоростью ET_1^4 и излучать его со скоростью ET^4 .

[1] См. стр. 56.

Четвертый степенной закон Стефана был подтвержден рядом хороших экспериментов, в частности экспериментами Луммера и Прингсгейма (*Международный конгресс по физике*, том II, стр. 78), так что, хотя некоторые эксперименты с ним не согласуются, мы, вероятно, вправе считать его правильным.

В 1884 году Больцман добавил еще больше доказательств в поддержку этого закона, выведя его теоретически. Он применил к пространству, содержащему волны полного излучения, два известных закона, управляющих преобразованием энергии, представив, что пространство проходит через цикл сжатий и расширений точно так же, как газ сжимается и расширяется в так называемом цикле Карно.

Изменение спектра в зависимости от температуры. Изменение характера спектра полного излучателя было определено в основном с помощью болометра Лэнгли, но общий характер изменения можно легко наблюдать глазом.

Когда температура полного радиатора повышается, сначала он излучает только невидимые тепловые волны; как только его температура превышает примерно 500°C , он начинает испускать одни из самых длинных видимых лучей; и по мере дальнейшего повышения температуры излучается все больше и больше видимых лучей в спектре, пока, когда радиатор не раскалится добела, не охватит весь видимый спектр. генерируется. Таким образом, чем выше температура излучателя, тем больше генерируется более коротких волн.

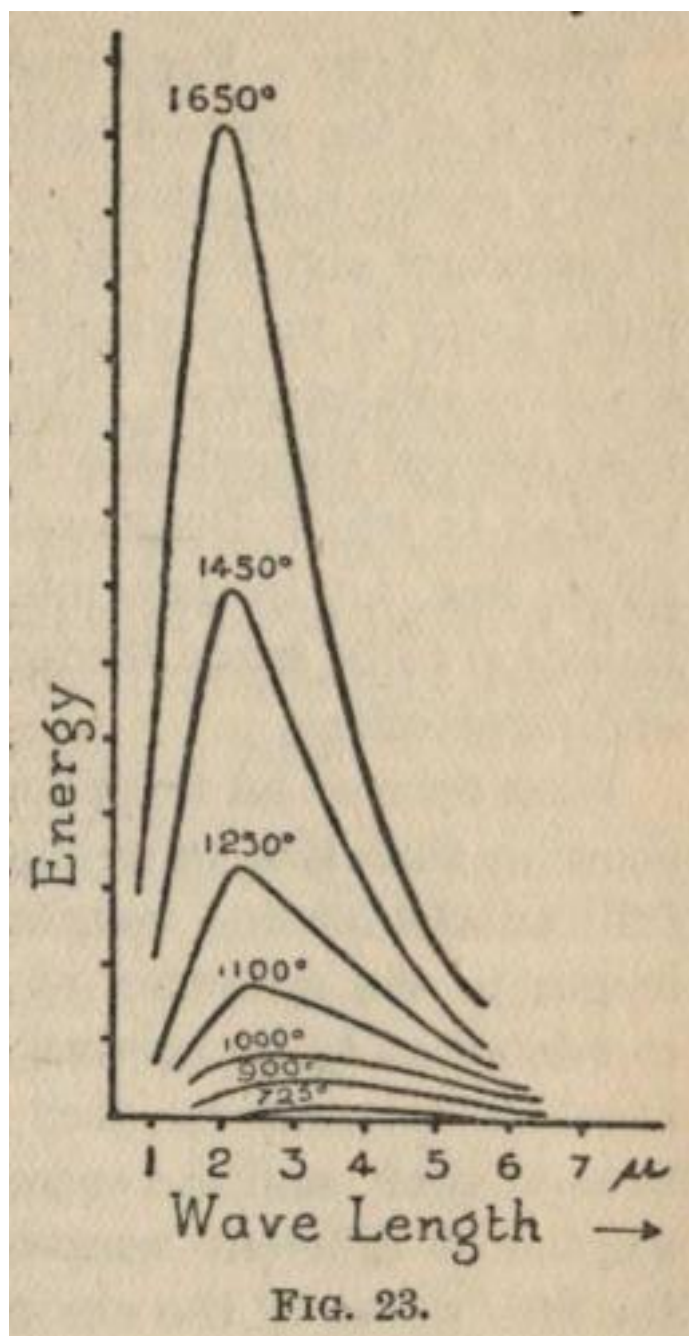


РИС. 23.

С помощью болометра Лэнгли было точно измерено распределение энергии в спектре, результаты которого подтвердили и усилили только что изложенные общие результаты. Энергия в спектре даже самых горячих земных излучателей находится в основном в более длинных волнах инфракрасного диапазона, но положение максимума энергии смещается в сторону все более коротких длин волн по мере повышения температуры, и поэтому появляется все больше более коротких волн. Солнце не является полноценным излучателем, но почти является им, и его температура настолько высока, что максимум энергии в его спектре приходится на видимую часть, близкую к красному концу.

На рис. 23 показаны результаты, полученные Луммером и Прингсгеймом, и отчетливо видно смещение максимума с повышением температуры, а также положение наибольшей части энергии в инфракрасной области.

Законы Вина.—Изучение результатов также показывает, что длина волны, при которой возникает максимальная энергия, обратно пропорциональна абсолютной температуре и что фактическая энергия в точке максимума пропорциональна пятой степени абсолютной температуры. Оба эти результата были теоретически получены Вином [2] аналогично тому, каким Больцман вывел четвертый степенной закон Стефана, т.е. Путем представления пространства, заполненного излучением, которое проходит через цикл сжатий и разрежения.

[1] *Wied. Энн.*, 46, с. 633; 52, с. 132.

Вин расширил последний результат, показав, что если длина волны в спектре полного излучателя при одной температуре и другая длина волны в спектре при другой температуре связаны настолько, что обратно пропорциональны двум абсолютным температурам, можно сказать, что они соответствуют друг другу, а энергия в соответствующих длинах волн при разных температурах пропорциональна пятой степени абсолютной температуры.

Таким образом, мы видим, что если распределение энергии в спектре полного излучателя известно при любой одной температуре, то оно может быть рассчитано для любой другой температуры путем применения этих двух законов для соответствующих длин волн и энергии в них.

Однако ни один из них не дает нам никакой информации о фактическом распределении энергии при какой-либо одной температуре, исходя из которой мы можем рассчитать ее при любой другой температуре. Для этого необходимо найти какое-то соотношение между энергией и длиной волны. Планк, рассуждая, основываясь на электромагнитном характере волн, вывел такое соотношение, но и его рассуждения, и его результаты слишком сложны, чтобы их можно было здесь представить. Его результаты были подтверждены самым поразительным образом экспериментами, проведенными Рубенсом и Курлбаумом (*Ann. der Physik*, 4, стр. 649, 1901). Они измерили энергию на определенной длине волны (0,0051 см, т.е. Почти в 100 раз превышающую длину волны красного света) в излучении полного излучателя при температуре от 85 ° до 1773 ° по абсолютной шкале, и их результаты приведены в следующей таблице:

Абсолютная температура. Наблюдаемая энергия. Энергия, рассчитанная по формуле Планка.

85	-20.6	-21.9
193	-11.8	-12
293	0	0

523	+31	+30.4
773	64.6	63.8
1023	98.1	97.2
1273	132	132
1523	164	160
1773	196	200

Таким образом, у нас есть средства расчета как общего количества, так и вида излучения, испускаемого любым полным излучателем при любой температуре, и с помощью полученных результатов можно решить ряд очень интересных проблем.

Эффективность освещения.—Эффективность освещения связана с одной очень простой проблемой. Ссылаясь на рис. 16, мы видим, что в излучении электрической дуги очень мало энергии находится в видимой части спектра, даже несмотря на то, что температура в дуге самая высокая, когда-либо достигнутая на земле, тогда как энергия в видимой части спектра от газового пламени почти полностью пренебрежимо мала. Проблема эффективного освещения заключается в том, чтобы как можно большая доля энергии попадала в видимую часть спектра, и, следовательно, чем выше температура, тем выше эффективность. Это является причиной большей эффективности газовой горелки накаливания по сравнению с обычной газовой горелкой, поскольку введение воздуха в газ позволяет сгоранию быть намного более полным, и, следовательно, температура газовой горелки становится намного выше, чем у частиц углерода в обычном пламени. Современные электрические лампы с металлической нитью накаливания имеют нити накала, изготовленные из металлов, температура плавления которых чрезвычайно высока, и поэтому они могут быть нагреты до гораздо более высокой температуры, чем старые углеродные нити. Электрическая дуга даже эффективнее металлических ламп накаливания, потому что ее температура еще выше; и мы должны предположить, что температура солнца намного выше даже электрической дуги, поскольку максимум ее энергии приходится на видимый спектр.

Температура Солнца.—Фактическую температуру солнца можно приблизительно рассчитать с помощью четвертого степенного закона Стефана. Сначала мы предположим, что земля и солнце являются полноценными излучателями, и что земля является хорошим проводником, так что ее температура повсюду одинакова. Первое предположение очень близко к истине, и мы сделаем поправку на небольшую ошибку, которую оно вносит; а второе, хотя и далеко от истины, очень мало влияет на конечный результат, поскольку обнаружено, что значения, полученные при противоположном предположении, что земля является абсолютным непроводником, отличаются менее чем на 2% от тех, что рассчитаны на основе первого предположения. Далее мы предположим, что тепло, излучаемое землей, в точности равно теплу, которое она получает от солнца. Это едва ли предположение, а скорее экспериментальный факт, поскольку эксперимент показывает, что тепло передается изнутри земли наружу и, следовательно, излучается, но с такой малой скоростью, что ею совершенно пренебрегают по сравнению со скоростью, с которой земля получает тепло от солнца.

Солнце занимает примерно одну 94 000-ю часть небесного полушария или одну 188 000-ю часть всей сферы. Если бы вся сфера, окружающая землю, имела солнечную яркость, земля

находилась бы в замкнутом пространстве с температурой солнца и, следовательно, сама была бы при этой температуре. Сфера излучала бы тепло со скоростью, в 188 000 раз превышающей скорость, с которой его излучает солнце, а земля излучала бы его со скоростью, в 188 000 раз превышающей нынешнюю. Но скорость, с которой он излучает, пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры, и, следовательно, его температура была бы четвертым корнем из 188 000, умноженных на его нынешнюю температуру, *т.е.* в 20,8 раза. Если излучающую или поглощающую способность земной поверхности принять за 9/10, что находится где-то рядом с отметкой, то расчет дает число 21,5 вместо 20,8. Средняя температура поверхности Земли, вероятно, составляет около 17 ° С или 290 абсолютных градусов, и, следовательно, температура солнца составляет $290 \times 21,5$, *т.е.* около 6200 абсолютных градусов.

Легко видеть, что если бы мы знали температуру солнца, а не земли, мы могли бы вычислить температуру земли, обратив процесс вспять.

Таким образом, мы можем оценить температуры других планет, по крайней мере, тех, для которых мы можем сделать те же предположения, что и для земли. Вероятно, те планеты, которые намного больше Земли, все еще излучают значительное количество собственного тепла, и поэтому к ним расчет неприменим; но меньшие планеты Меркурий, Венера и Марс, вероятно, уже излучили почти все свое собственное тепло и теперь излучают только то тепло, которое они получают от солнца. Рассчитанные таким образом температуры составляют —

Средняя
Абсолютная температура

Меркурия	467°
Венеры	342°
Земли	290°
Марса	235°

Поскольку абсолютная температура замерзания воды составляет 273 ° С, мы видим, что средняя температура Марса на 38 ° С ниже точки замерзания, и почти наверняка ни одна часть Марса никогда не поднимается выше точки замерзания.

Очень похожим образом мы можем определить температуру, которой достигает непроводящая поверхность, когда она подвергается воздействию полного солнечного света, приравнявая поглощенное тепло к излучаемому, и в результате получим абсолютную температуру 412 ° С, *т.е.* 139 ° С, или значительно выше точки кипения. Это было бы верхним пределом температуры поверхности Луны в точке, где солнце находится в зените.

На поверхности земли солнечному свету приходилось проходить через атмосферу, и, по оценкам, при совершенно ярком солнечном свете передается только три пятых тепла. Любая поверхность также излучает в окружающую среду, которая находится под углом около 300 ° по абсолютной шкале. Принимая во внимание эти два факта, мы обнаруживаем, что верхний предел непроводящей поверхности при ярком солнечном свете на земле составляет около 365 абсолютных градусов, или всего на несколько градусов меньше точки кипения воды.

Эффективная температура помещения.—Последняя проблема, которую мы решим с помощью четвертого степенного закона, - это оценка эффективной температуры пространства, *т.е.* Температуры полного поглотителя, защищенного от солнца и находящегося далеко от любой планеты.

Экспериментально подсчитано, что излучение солнца в зените в пять миллионов раз превышает излучение звезд. Эта оценка очень приближительна, поскольку излучение звезд очень незначительно. Поскольку солнце занимает только одну 94 000-ю часть небес, излучение яркого от солнца полушария было бы в пять миллионов раз больше звездного света в 94 000 раз, *т.е.* в 470 000 000 000 раз. Таким образом, температура солнца равна четвертому корню из этой величины, умноженному на эффективную температуру космоса, *т.е.* примерно в 700 раз. Поскольку температура солнца составляет около 6200 °, температура космического пространства немногим меньше абсолютных 10 °; *т.е.* ниже -263 ° С.

Обратите внимание на абсолютную температуру.—Обнаружено, что если температура газа, такого как воздух, повышается или понижается при сохранении равномерного давления, то на каждый подъем или падение на один градус Цельсия его объем увеличивается или уменьшается на одну двести семьдесят третью от его объема при температуре замерзания, *т.е.* при 0° по Цельсию. Следовательно, если бы процесс продолжался таким же образом вплоть до - 273 ° по Цельсию, то при этой температуре его объем сократился бы до нуля. Поэтому эта температура называется абсолютным нулем температуры, а температуры, отсчитываемые от нее, называются абсолютными температурами. Чтобы получить абсолютные температуры от температуры по Цельсию, нам, очевидно, нужно добавить 273 °.

ГЛАВА VI

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОГЛОЩЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ни одно описание радиации не было бы полным без упоминания о том, что происходит с излучением, которое поглощают тела, но значительная часть предмета находится в настолько неопределенном состоянии, что ему будет уделено очень мало места.

Поглощенное излучение преобразуется в тепло.—Наиболее распространенным эффектом поглощенного излучения является повышение температуры поглощающего тела и, таким образом, повторное излучение им длинных тепловых волн. Поскольку обычно поглощающее тело имеет более низкую температуру, чем излучающее, волны, испускаемые поглотителем, длиннее волн, испускаемых излучателем, и поэтому конечным результатом является преобразование более коротких волн в более длинные. Но мы видели из теории обменов Прево,

что излучатель и поглотитель взаимозаменяемы, и поэтому мы видим, что те волны, которые излучаются поглотителем и поглощаются излучателем, повторно излучаются последним в виде более коротких волн.

Механизм, с помощью которого волны преобразуются в тепло в организме, до сих пор остается загадкой. То, что волны должны заставлять электроны вибрировать, совершенно ясно, но как колебания электронов преобразуются в те колебания атомов и молекул, которые составляют тепло, все еще остается неразгаданным, и обратный процесс, конечно, не менее загадочен.

Нагревание тела и последующее повторное излучение тепловых волн - это, однако, не единственный продолжающийся процесс. В большом количестве веществ волны испускаются под воздействием других волн вообще без какого-либо нагревания тела. В большинстве этих случаев излучение прекращается, как только прекращаются стимулирующие волны, и в этих случаях это явление получило название флуоресценции. Это название произошло от фтористого шпата, вещества, которое, как было впервые замечено, проявляет это своеобразное излучение волн.

Знакомым примером флуоресценции является парафиновое масло, которое светится синим светом при освещении обычным солнечным светом или дневным светом. Возможно, самый простой способ увидеть это - направить узкий луч света через парафиновое масло, содержащееся в стеклянном сосуде, и рассматривать масло в направлении, перпендикулярном лучу. Затем последний станет ярко-синим.

Водный раствор сульфата хинина, подкисленный несколькими каплями серной кислоты, также обладает голубой флуоресценцией, в то время как водный раствор эскулина (полученный путем заливки горячей водой кусочков коры конского каштана) светится ярким синим светом.

Некоторые смазочные масла флуоресцируют зеленым светом, как и раствор флуоресцента в воде, названный так из-за его выраженной флуоресценции.

Раствор хлорофилла в спирте, который можно легко приготовить путем замачивания зеленых листьев в спирте, демонстрирует красную флуоресценцию; урановое стекло — канареечное стекло, из которого очень часто изготавливают маленькие вазы, — демонстрирует ярко-зеленую флуоресценцию, как и кристаллический нитрат урана.

При наблюдении за спектром флуоресцентного света было обнаружено, что излучается довольно небольшой диапазон волн, демонстрирующий хорошо выраженный максимум интенсивности при длине волны, характерной для конкретного флуоресцирующего вещества.

Также, по-видимому, существует ограниченный диапазон волн, которые могут индуцировать эту флуоресценцию, и этот диапазон также зависит от флуоресцирующего вещества. Как правило, индуцирующие волны короче по длине, чем индуцируемая флуоресценция, но из этого правила есть несколько очень заметных исключений.

Тот факт, что флуоресценция возникает только в ограниченном диапазоне волн, объясняет заметную характеристику этого явления. Если флуоресцирующие растворы достаточно сильны, флуоресценция ограничивается областью, близкой к тому месту, где свет попадает в раствор, что показывает, что лучи, ответственные за создание свечения, быстро поглощаются, в то время как остальная часть света остается практически непоглощенной.

Фосфоресценция.—Иногда излучение индуцированного света продолжается некоторое время после прекращения индуцирующих волн, и тогда это явление называется фосфоресценцией, поскольку фосфор испускает непрерывное свечение без повышения температуры.

Иногда свечение сохраняется в течение нескольких часов после отключения возбуждающих лучей, хорошим примером этого является светящаяся краска Balmain, представляющая собой сульфид кальция. В случае с другими веществами свечение будет продолжаться лишь очень малую долю секунды, так что невозможно сказать, где заканчивается флуоресценция и где начинается фосфоресценция.

Для определения продолжительности свечения в случае этих небольших промежутков времени устанавливается устройство, состоящее из двух вращающихся дисков, в каждом из которых есть прорезы. Через щели в одном из них освещается вещество, а через щели в другом наблюдается вещество при выключенном свете. Регулируя положение дисков относительно друг друга, можно сделать так, чтобы щели следовали одна за другой через большие или более короткие промежутки времени, и, таким образом, время наблюдения может быть увеличено или уменьшено после отключения освещения.

Все тела, которые, как было замечено, проявляют фосфоресценцию, являются твердыми.

Теория флуоресценции.— Довольно просто представить механизм, с помощью которого может быть вызвана флуоресценция, поскольку мы могли бы предположить связь между периодами колебаний определенных типов электронов в веществе и периодом стимулирующих волн. Таким образом, мог бы возникнуть резонанс, и последующие колебания электронов вызвали бы серию вторичных волн.

Если, однако, мы предполагаем резонанс, трудно понять, почему существует определенный диапазон длин волн и другой диапазон длин волн, который может их вызывать. Мы должны были ожидать, что одна или несколько определенных волн будут создавать одну или несколько определенных длин волн в свечении, в то время как, если весь диапазон волн будет производить эффект, трудно понять, почему не все тела проявляют это явление.

Но явление фосфоресценции, в конечном счете, не поддается никакому подобному описанию, поскольку между этими двумя явлениями нет четкого различия. Известны некоторые вещества, в которых фосфоресценция длится в течение такой чрезвычайно малой доли секунды после прекращения действия стимулирующих волн, что трудно понять, называть ли этот эффект флуоресценцией или фосфоресценцией. Следовательно, вполне вероятно, что и то, и другое является следствием одного и того же действия. Теперь волна оранжевого света совершает около пятисот миллионов колебаний за одну секунду, и, следовательно, если бы фосфоресценция оранжевого цвета длилась всего одну пятисотую долю секунды, это означало бы, что ответственные за нее электроны вибрируют миллион миллионов раз после устранения раздражителя. Это вряд ли правдоподобно, и становится еще более правдоподобным, если вспомнить, что у некоторых фосфоресцирующих веществ эффект длится много часов.

Химическая теория фосфоресценции.—Более вероятно, что стимулирующие лучи вызывают фактически химические изменения в фосфоресцирующем веществе. Например, возможно, что колебания определенного типа электрона в одном виде атома становятся настолько сильными, что отрывают его от атома, и временно свободный электрон немедленно присоединяется к другому виду атома.

Новое расположение может быть довольно стабильным; так обстоит дело при воздействии света на фотопластинку, но оно может быть стабильным только тогда, когда электроны вытесняются из своих первоначальных атомов, и в этом случае электроны начнут возвращаться к своему прежнему положению, как только стимул будет снят. В обратном процессе электроны естественным образом будут возбуждаться и, следовательно, будут излучать волны со своим характерным периодом. Скорость, с которой происходит процесс возврата, очевидно, будет зависеть от стабильности нового соглашения. Если он крайне нестабилен, весь возврат может занять всего долю секунды, но если он почти так же стабилен, как исходное устройство, возврат может быть чрезвычайно медленным.

Таким образом, с этой точки зрения, фосфоресцировать будут те вещества, у которых есть электрон, который довольно легко отделяется от своего атома и который присоединяется к другому атому, образуя менее стабильную структуру, чем исходная.

Температура и фосфоресценция.—Подтверждением этой химической точки зрения является влияние температуры на фосфоресценцию. Скорость химического изменения обычно очень сильно увеличивается при повышении температуры, и, кроме того, при очень низких температурах большое количество химических изменений, которые довольно легко происходят при обычных температурах, вообще не происходят.

Аналогично, при очень низких температурах действие света может быть более или менее стабильным. Например, Дьюар охладил фрагмент платиноцианида аммония с помощью жидкого водорода и подвергнул его воздействию сильного света. После удаления света фосфоресценции не наблюдалось, хотя при обычных температурах наблюдается ярко-зеленая фосфоресценция, но при нагревании фрагмента он начинает светиться очень ярко.

Светящаяся краска Balmain обладает частичной стойкостью, поскольку, если ее поддержать в темноте до тех пор, пока она совсем не погаснет, она снова начнет светиться в течение короткого времени при любом нагревании. Благодаря этому свойству инфракрасную область спектра можно сделать видимой. Для этого экран покрывают краской, подвергают воздействию сильного солнечного света, а затем размещают так, чтобы он принимал спектр. Первый эффект невидимых тепловых лучей заключается в том, что участки экрана, на которые они падают, становятся ярче, чем их окружение; но это приводит к более быстрому излучению фосфоресценции, и вскоре она вся испускается, оставляя темную область, где тепло разрушило фосфоресценцию.

Таким образом, в целом те вещества, которые фосфоресцируют при обычных температурах, делают это быстрее при повышении температуры.

Но Дьюар обнаружил ряд веществ, которые фосфоресцируют только при низких температурах, *например*, желатин, целлулоид, парафин, слоновая кость и рог. Это не является фатальным возражением против идеи химического изменения, поскольку некоторые химические действия будут происходить только при низких температурах, но это возражение, поскольку довольно большое количество веществ фосфоресцирует только при низких температурах, тогда как существует не так много химических реакций, которые будут происходить только там.

На самом деле, даже если идея химического изменения верна, она не очень удовлетворительна, поскольку химические изменения, несомненно, очень сложные, и было бы

слишком сложно проследить переход от вибрации электрона к химическому изменению *инаоборот*.

Следовательно, не существует удовлетворительной теории, объясняющей поглощение и ослабление волн, независимо от того, сопровождается или нет повышение температуры поглощающего тела.

ГЛАВА VII

ДАВЛЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

Прогноз давления по Максвеллу.— Если бы тот факт, что свет оказывает давление, был известен во времена Ньютона, нет сомнений, что это было бы расценено как убедительное доказательство превосходства корпускулярной теории над волновой. И все же, по иронии судьбы, Джеймсу Клерку Максвеллу было предоставлено право предсказать его существование и рассчитать его значение на основе своей теории электромагнитных волн; и более того, измерение его значения дало решающее свидетельство в пользу волновой теории, поскольку значение, предсказанное последней, составляет лишь половину от предсказанного корпускулярной теорией, а измерения Николлса и Халла совпадают с точностью до 1 процента со значением волновой теории.

Максвелл показал, что все волны, которые доходят до поверхности и поглощаются ею, оказывают давление на каждый квадратный сантиметр поверхности, равное количеству энергии, содержащейся в одном кубическом сантиметре луча.

Если поверхность является идеальным отражателем, отраженные волны создают равное противодействие, и, следовательно, давление удваивается. Поскольку волны отражаются обратно вдоль их первоначального направления, энергия в луче также удваивается, и поэтому давление по-прежнему будет равно энергии на кубический сантиметр луча.

Поскольку энергия, получаемая за одну секунду от солнца в любой области, может быть измерена путем измерения поглощенного тепла, а поскольку скорость света известна, мы можем рассчитать энергию, содержащуюся в одном кубическом сантиметре полного солнечного света, и, следовательно, давление на один квадратный сантиметр поверхности. Ибо энергия, полученная на одном квадратном сантиметре поверхности за одну секунду, должна была первоначально распространяться на длину луча, равную расстоянию, которое свет прошел за одну секунду, *т.е.* на длину, равную скорости света. Следовательно, если мы разделим эту энергию на скорость света, мы получим энергию в виде луча длиной в один сантиметр и, следовательно, в одном кубическом сантиметре.

Оказывается, что это действительно чрезвычайно малое давление, всего лишь немногим превышающее вес в полмиллиграмма на квадратный метр поверхности.

Максвелл предположил, что гораздо большую энергию излучения можно получить с помощью концентрированных лучей электрической лампы. Такие лучи, падающие на тонкий металлический диск, delicatно подвешенный в вакууме, возможно, могли бы вызвать заметный механический эффект.

Почти через тридцать лет после предложения Максвелла это было успешно осуществлено проф. Лебедев из Москвы, который использовал именно ту схему, которую предложил Максвелл.

Измерение давления.—Луч света от дуговой лампы фокусировался на диске, очень изящно подвешенном в стеклянном шаре около 8 дюймов в поперечнике. На самом деле были подвешены четыре диска, как показано на рис. 24, и были приняты меры для концентрации луча по обе стороны от любого из четырех дисков.

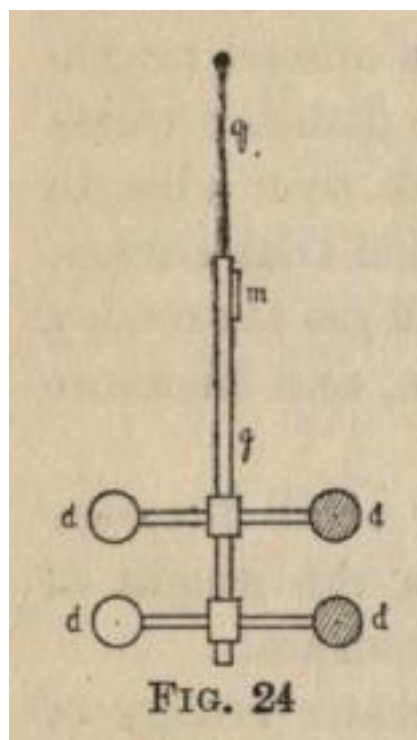


РИС. 24.

Суспензией служило очень тонкое кварцевое волокно q . Диски d, d, d имели полсантиметра в диаметре и были закреплены на двух легких кронштейнах так, что их центры находились в сантиметре от стеклянной палочки g , на которой они находились. Зеркало m служило для измерения угла, на который вся система была повернута из-за давления луча на один из дисков. Чтобы измерить угол, телескоп рассматривал отражение шкалы *вметрах*, и когда m повернулось, стали видны разные деления шкалы.

Два диска слева были отполированы, и поэтому давление на них должно быть примерно вдвое больше, чем на почерневших дисках справа.

После измерения угла, на который луч света повернул систему, несложно измерить силу, которая могла бы вызвать такое искривление волокна q . Чтобы проверить, соответствует ли давление расчетному значению, мы должны найти энергию в луче света. Это было сделано путем направления луча на почерневший кусок меди и измерения скорости повышения его температуры. Исходя из этой скорости и веса меди, легко рассчитать количество тепла, получаемого в секунду, и, следовательно, количество энергии, получаемой в секунду на один квадратный сантиметр площади. Зная скорость света, мы можем, как было предложено выше, рассчитать энергию в одном кубическом сантиметре луча.

Результат Лебедева очень хорошо соответствовал расчетному значению. Главная трудность эксперимента заключается в устранении эффектов из-за небольшого количества газа, оставшегося в шаре. Каждый диск нагревается лучом света, и газ, контактирующий с ним, нагревается и вызывает конвекционные течения в газе. При очень низких давлениях несколько иное действие газа становится нарушающим фактором. Этот эффект возникает из-за того, что молекулы, которые подходят к диску, нагреваются и отскакивают от диска с большей скоростью, чем та, с которой они приближались к нему. Отскок каждой молекулы вызывает обратный удар по диску, а непрерывный поток молекул создает устойчивое давление.

Это было бы одинаково на обеих сторонах диска, если бы обе стороны имели одинаковую температуру, но поскольку луч света доходит до одной стороны, эта сторона становится горячее другой, и на этой стороне будет избыточное давление. Это действие называется действием "радиометра", потому что впервые оно было использовано Круксом для обнаружения излучения.

Между Сциллой конвекционных потоков при более высоких давлениях и Харибдой действия радиометра при более низких давлениях, по-видимому, имеется канал при давлении около двух-трех сантиметров ртутного столба. Ибо здесь конвекционные токи невелики, и воздействие радиометра едва начало быть заметным.

Работая при таком давлении и используя одно или два других устройства для устранения воздействия газа, профессора Николлс и Халл также измерили давление света чрезвычайно тщательным и виртуозным способом. Их результаты были чрезвычайно согласованы между собой и совпадали с расчетным значением с точностью до одного процента. Те, кто знает, как трудно измерить такие незначительные силы и величину возмущающих факторов, должны признать этот результат одним из лучших экспериментальных достижений нашего времени.

Влияние светового давления в астрономии. Силы, обусловленные давлением света, настолько малы, что мы не должны ожидать, что сможем обнаружить их воздействие на астрономические тела, и, конечно, мы не можем надеяться наблюдать их в крупных телах нашей системы.

Давление солнечного света на всю поверхность земли составляет около 75 000 тонн веса. Это не кажется незначительным, пока мы не сравним это с притяжением солнца к земле, которое в двести миллионов миллионов раз сильнее.

Однако, когда мы рассматриваем очень маленькие тела, мы обнаруживаем, что давление света может даже превышать гравитационное притяжение, и поэтому эти маленькие частицы будут унесены прочь от нашей системы.

Чтобы показать, что давление света становится все более и более важным, давайте представим две сферы из одного и того же материала, одна из которых имеет радиус, в четыре раза превышающий радиус другой.

Тогда вес большего, то есть его гравитационное притяжение, будет в шестьдесят четыре раза больше, чем у меньшего, в то время как площадь и, следовательно, световое давление, будут в шестнадцать раз больше.

Следовательно, давление света в сфере с радиусом в четверть радиуса в четыре раза выше. Для сферы, радиус которой составляет одну двухсотмиллионную миллионного радиуса земли и такой же плотности, давление света было бы равно притяжению солнца, и, следовательно, такая сфера вообще не притягивалась бы к солнцу.

Это чрезвычайно маленькая частица, намного меньше мельчайшей видимой пыли, но даже на гораздо более крупные предметы давление света оказывает заметное влияние.

Таким образом, для сферы радиусом в один сантиметр и той же плотности, что и земля, давление солнечного света составляет одну семьдесят четыре тысячных силы притяжения, обусловленной гравитацией. Следовательно, ему не нужно двигаться по своей орбите с такой высокой скоростью, чтобы не упасть на солнце, и поэтому его год удлиняется примерно на три минуты. Удлинение хвостов комет по мере их приближения к солнцу и кажущееся отталкивание хвоста солнцем иногда объясняют давлением солнечного света, но совершенно очевидно, что силы, действующие в игре, намного больше, чем можно объяснить светом.

Эффект Доплера.—Эффект Доплера также оказывает некоторое влияние на движение астрономических тел. Когда тело, принимающее волны, движется к источнику волн, оно принимает волны быстрее, чем если бы оно было неподвижным, и, следовательно, давление больше. Когда тело удаляется от источника, оно принимает волны менее быстро, и, следовательно, давление света на него меньше, чем на неподвижное тело. Если тело движется по эллиптической орбите, оно движется к солнцу в одной части своей орбиты и прочь в другой части; следовательно, оно будет замедляться в обеих частях, и конечным результатом будет то, что орбита станет круговой.

Эффект Доплера может действовать и по-другому. Тело, принимающее волны от солнца с одной стороны, нагревается и излучает волны во всех направлениях. Двигаясь по своей орбите, он будет усиливать волны, которые он посылает перед собой, и удлинять те, которые он посылает позади себя. Но энергия на кубический сантиметр будет больше там, где волны сосредоточены, чем там, где они вытягиваются, и, следовательно, тело будет испытывать замедляющую силу на своей орбите. Поскольку тело имеет тенденцию двигаться медленнее, оно немного опускается по направлению к солнцу и таким образом приближается к солнцу по спирали.

Три эффекта светового давления.— Таким образом, мы имеем три эффекта светового давления на тела, описывающие орбиту вокруг Солнца. Первый эффект заключается в удлинении периода их обращения, второй - в том, чтобы сделать их орбиты более круговыми, и третий - в том, чтобы заставить их постепенно приближаться к солнцу по спирали. Эти эффекты совершенно незначительны для тел размером с землю, но для небольших тел диаметром порядка одного сантиметра или меньше эффекты были бы довольно значительными. Наша

система полна таких тел, о чем свидетельствует их количество, которые проникают в нашу атмосферу и образуют падающие звезды. Существование таких тел представляет некоторую проблему, поскольку какую бы оценку возраста солнца мы ни приняли за правильную, оно, безусловно, такого возраста, что, если бы эти тела существовали в его начале, все они давным-давно были бы притянуты к нему. Следовательно, мы должны предположить, что они каким-то образом постоянно обновляются, и поскольку мы не видим достаточного источника внутри Солнечной системы, мы должны прийти к выводу, что они обновляются извне. Есть все основания полагать, что некоторые из них происходят от комет, которые распались и распространились по своим орбитам. Они образуют метеорные потоки.

Таким образом, солнце уносит мельчайшую пыль прямо из нашей системы, а все остальное оно постепенно притягивает к себе.

ГЛАВА VIII

СВЯЗЬ МЕЖДУ ЛУЧИСТЫМ ТЕПЛОМ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ВОЛНАМИ

В этой заключительной главе предлагается показать, как были определены длины волн излучаемого тепла, и указать, какой диапазон длин волн наблюдался экспериментально. Затем предлагается показать, как электромагнитные волны были созданы простыми электрическими средствами и как были измерены их длины волн. Следует отметить сходство свойств лучистого тепла и электрических волн, что приводит к выводу, что разница между двумя наборами волн заключается всего лишь в длине волны.

Дифракционная решетка.—Лучший метод измерения длин волн тепла и света - с помощью "Дифракционной решетки". Она состоит, по существу, из большого количества тонких параллельных равноудаленных щелей, расположенных очень близко друг к другу. Для измерения длин волн света и более коротких тепловых волн его обычно производят путем проведения большого количества очень тонких, близко расположенных на равном расстоянии линий на куске стекла или на полированном зеркале с помощью алмазного острья. Линейчатые линии непрозрачны на стекле и не отражаются в зеркале, и, следовательно, промежутки между ними действуют как щели.

Решетки Роуланда.—Правка этих решеток - очень сложное и утомительное занятие, но Роулэнд преодолел эти трудности замечательным образом, так что решетки, правленные на его

машине, стали стандартными инструментами во всем мире. Ему удалось выровнять решетки диаметром 6 дюймов с 14 000 линиями на дюйм, что является поистине замечательным результатом, если вспомнить, что если в процессе обработки на алмазном острие образуется малейший скол, то портится вся решетка.

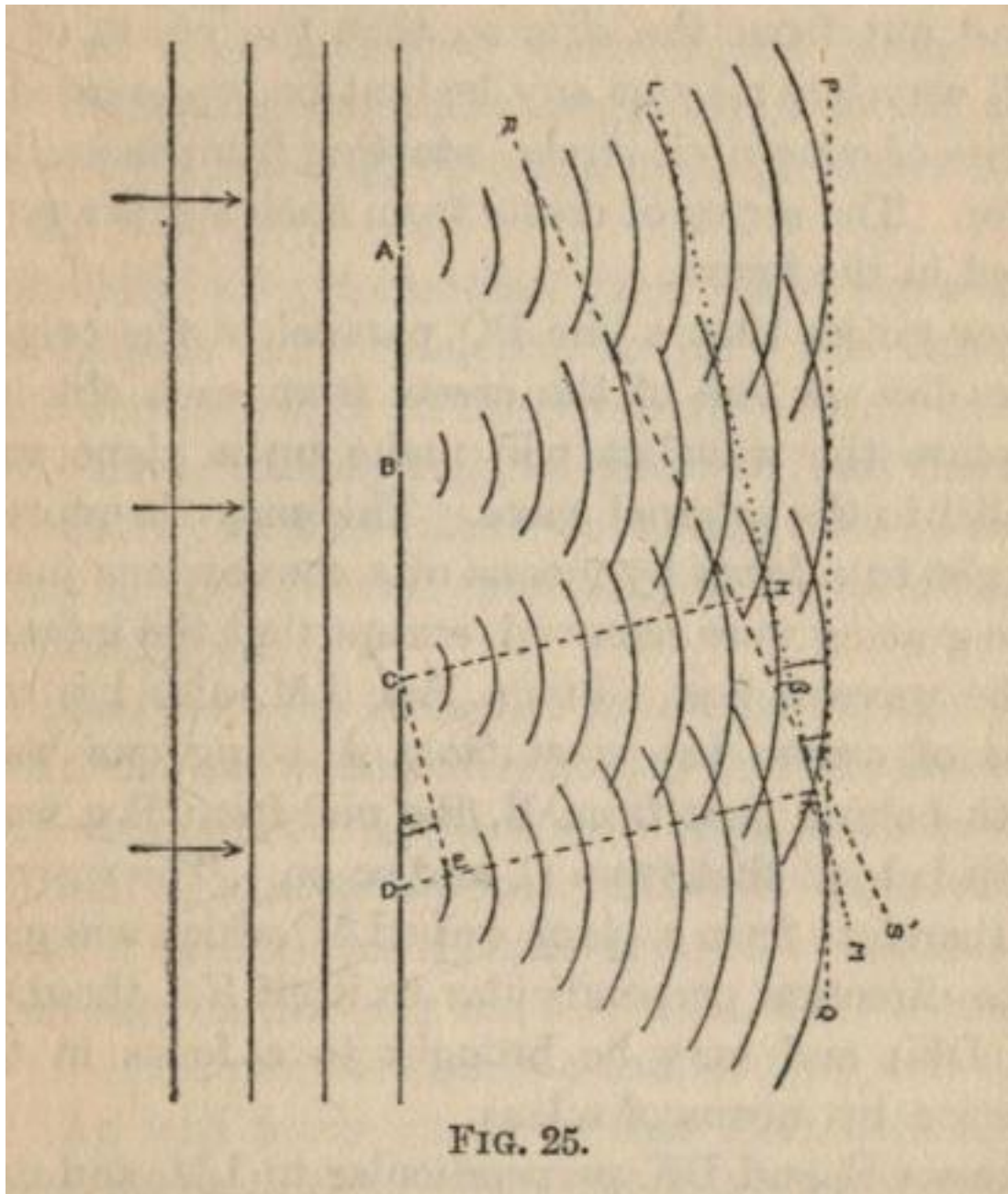


РИС. 25.

Действие решетки можно наглядно представить с помощью рис. 25. Пусть A, B, C, D представляют равноудаленные щели в решетке, и пусть прямые линии слева от решетки представляют в любой момент гребни некоторых простых плоских волн, доходящих до решетки. Небольшие доли исходных волн, выходящих из щелей A, B, C, D, будут распространяться из щелей так, что гребни небольших волн могут в любой момент быть представлены серией

концентрических кругов, начинающихся от каждой щели в центре. Серия гребней из каждой щели представлена на рисунке.

Теперь обратите внимание, что линия PQ, параллельная исходным волнам, лежит на одном из гребней каждой щели, и, следовательно, вейвлеты будут составлять плоскую волну, параллельную исходной волне. Таким образом, его можно сфокусировать с помощью выпуклой линзы точно так же, как если бы решетка была удалена, за исключением того, что интенсивность волны меньше. Но линия, LM, также лежит на серии гребней, гребень от A отстает на одну длину волны от B, гребень от B на длину волны от C и так далее. Таким образом, вейвлеты будут формировать плоскую волновую пленку LM, которая будет двигаться в направлении, перпендикулярном самой себе (*т.е.* в направлении DK), и может быть сфокусирована в этом направлении с помощью линзы.

Нарисуйте CH и DK перпендикулярно LM, а CE - перпендикулярно DK, *т.е.* Параллельно LM. Разница между CH и DK, очевидно, составляет одну длину волны, *т.е.* DE - это одна длина волны. Если α - угол между направлением PQ и LM, то DE, очевидно, равно $CD \sin \alpha$ и, следовательно, одна длина волны = $CD \sin \alpha$.

Из линейки решетки мы знаем значение CD, и поэтому, измеряя α , мы можем рассчитать длину волны.

Мы обнаруживаем, что третья линия RS также лежит на ряде гребней, и поэтому плоская волна распространяется в направлении, перпендикулярном RS. Здесь мы замечаем, что гребень от A на две длины волны отстает от гребня от B, и так далее, и поэтому, если β - угол между RS и PQ, $CD \sin \beta$ равен двум длинам волны.

Аналогично мы получаем другую плоскую волну с разницей в три длины волн и так далее. Интенсивность вейвлетов довольно быстро падает по мере того, как они становятся более наклонными к своему первоначальному направлению, и, следовательно, интенсивность этих плоских волн также довольно быстро падает по мере того, как они становятся более наклонными к направлению, в котором движется PQ.

Мы видим, что существенным условием распространения плоской волны в любом направлении является то, что разница в расстояниях плоской волны от двух последовательных щелей должна составлять в точности целое число длин волн. Если оно хоть немного отклоняется от этого условия, мы должны увидеть, проведя линию, что на линии лежит равное количество гребней и впадин, и, следовательно, если фокусировка линзы движется в этом направлении, результирующий эффект равен нулю. Направления волн PQ, LM, RS и с., следовательно, будут очень четко определены и допускают очень точное определение.

Диспергирование с помощью решетки.—Очевидно, что отклонения α , β будут больше, чем больше DE, *т.е.* Чем больше длина волны, и, следовательно, свет или тепло будут "рассеяны" по своим длинам волн, как в призме; но в этом случае дисперсия противоположна дисперсии в обычной призме, длинные волны рассеиваются больше всего, а короткие - меньше всего.

Очевидно также, что чем меньше расстояние CD, тем больше угол, и поэтому для чрезвычайно коротких длин волн света и ультрафиолетовых лучей нам требуется, чтобы расстояние между последовательными щелями было чрезвычайно малым.

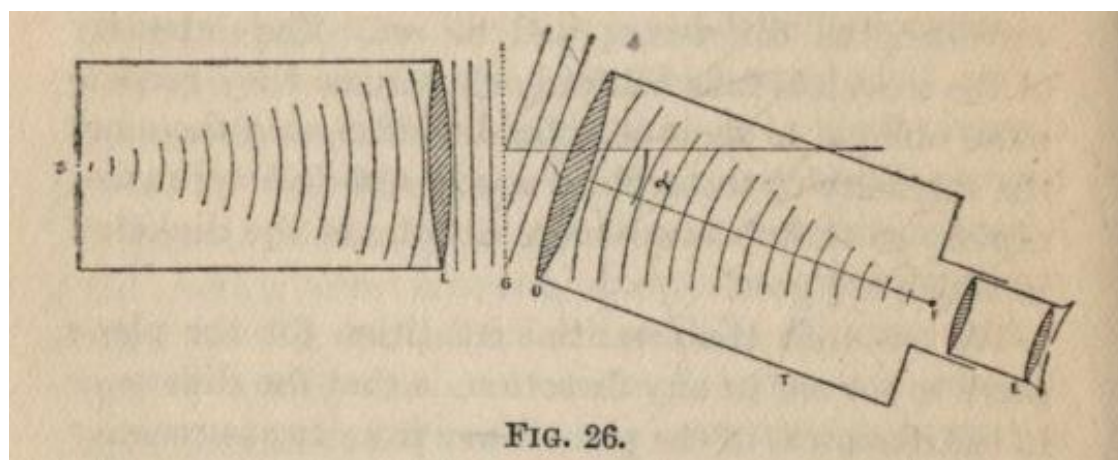


РИС. 26.

Спектрометр.—Решетка обычно используется со спектрометром, как показано в плане схематично на рис. 26. Щель S, из которой исходят волны, расположена в главном фокусе линзы L, и поэтому волны выходят из L в виде плоских волн, которые доходят до решетки G. Сначала поворачивают телескоп T до тех пор, пока он не увидит непосредственно щель, *т.е.* Пока плоские волны, подобные PQ на рис. 25, не будут сфокусированы в главном фокусе F объектива телескопа. Окуляр E рассматривает изображение щели S, которая формируется в точке F. Затем телескоп поворачивают на угол α до тех пор, пока он не увидит второе изображение щели, которое будет сформировано плоскими волнами, аналогичными пленке на рис. 25. Угол α тщательно измеряется градуированным кругом на спектрометре, и, следовательно, измеряется длина волны определенного вида света или определенной части спектра.

Этот спектрометрический метод в точности соответствует методу, используемому для измерения длин волн в видимой части спектра.

Что касается ультрафиолетовых лучей, то вместо просмотра изображения щели с помощью окуляра телескопа фотографическая пластинка помещается в главном фокусе F объектива телескопа и служит для обнаружения существования и положения этих более коротких волн. Для тепловых лучей полоска болометра Лэнгли расположена в точке F, фактически полоска болометра может использоваться повсюду, но она не так чувствительна к видимым и ультрафиолетовым лучам, как глаз и фотопластинка.

Поглощение стеклом и кварцем.—В этих экспериментах возникают две основные трудности. Первый из них заключается в том, что, хотя стекло или, что еще лучше, кварц чрезвычайно прозрачны для ультрафиолетовых, видимых и более коротких инфракрасных волн, они почти полностью поглощают некоторые из более длинных тепловых волн.

Следовательно, для этих волн необходимо разработать какое-либо устройство, в котором они не проходили бы через стеклянную дифракционную решетку или через стеклянные или кварцевые линзы. Для достижения этого выпуклые линзы заменены вогнутыми зеркалами, а линейчатая решетка заменена решеткой, сделанной из очень тонких проволок, которые натянуты на рамку параллельно и на равном расстоянии друг от друга. Проволочная решетка не может быть изготовлена с такими мелкими или закрытыми прорезями, как линейчатая решетка, но для более длинных волн в этом нет необходимости.

Отражающий спектрометр. Схема, используемая Рубенсом, представлена примерно в плане на рис. 27. L представляет источник тепла, лучи от которого отражаются от вогнутого зеркала M и фокусируются на щели S. Выходящие из S лучи отражаются на M_2 и, таким образом, становятся параллельными перед прохождением через проволочную решетку G. После прохождения через решетку лучи отражаются на M_3 и, таким образом, фокусируются на полоске болометра, расположенной в точке B. Поворот зеркала на M_3 в этом устройстве, очевидно, эквивалентен повороту телескопа в обычном спектрометрическом устройстве.

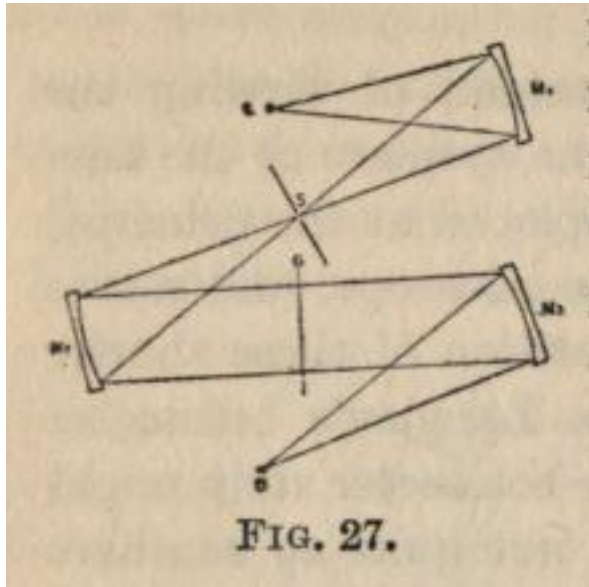


РИС. 27.

Поглощение волн воздухом.—Используя спектрометр в опорожненном сосуде, Шуман обнаружил, что в ультрафиолетовой области существуют волны гораздо меньшей длины, чем любые ранее обнаруженные, и что эти волны почти полностью поглощаются при прохождении через несколько сантиметров воздуха. Однако для всех более длинных волн воздух кажется чрезвычайно прозрачным.

Вторая трудность возникает из-за уже объясненного факта, что дифракционная решетка дает не один, а несколько спектров. Если существует только небольшой диапазон волн, это не приведет к путанице, но если исследуется большой диапазон, мы можем получить два или более из этих спектров, перекрывающихся.

Предположим, например, что у нас есть несколько волн длиной DE (на рис. 25), некоторые волны длиной в половину DE и некоторые длиной в одну треть DE. Затем в направлении DK мы получим плоские волны каждой из этих длин волн, исходящие и фокусирующиеся в одном и том же месте. Эту трудность можно довольно просто преодолеть там, где требуется только измерение длины волны, установив на пути лучей от источника света подходящие поглощающие экраны, которые позволят проходить через них только очень небольшому диапазону длин волн. Тогда не будет никакого дублирования и путаницы.

Там, где необходимо определить фактическое распределение энергии в спектре любого источника тепла, сложность становится более серьезной, и, вероятно, в определениях присутствует некоторая ошибка, особенно в самых длинных волнах, которые почти полностью маскируются перекрывающимися более короткими волнами.

Остальные-Страхлены или Остаточные Лучи.— Очень красивый метод выделения очень длинных тепловых волн и, таким образом, освобождения их от маскирующего эффекта более коротких волн, был разработан Рубенсом и Николсом.

Обнаружено, что когда вещество очень сильно поглощает любые волны, которые проходят через него, оно также сильно отражает на своей поверхности те же волны. Например, лист стекла, используемый в качестве противопожарного экрана, будет отводить большую часть тепла, исходящего от огня, хотя он совершенно прозрачен для света. Если теперь поместить его так, чтобы он отражал свет и тепло от огня, то окажется, что он отражает очень мало света, но очень большую долю тепла.

Некоторые вещества имеют четко определенную полосу поглощения, *т.е.* Они очень сильно поглощают определенную длину волны, и поэтому эти вещества будут сильно отражать эту же длину волны. Если вместо одного отражения организовать несколько последовательных отражений, то при каждом отражении доля сильно отраженной длины волны увеличивается до тех пор, пока в конечном итоге не останется практически только эта одна длина волны. Поэтому его можно очень легко измерить. Эти волны, возникающие в результате ряда последовательных отражений, остаточных лучей, как их еще называют, в значительной степени использовались для исследования длинных волн. Кварц дает остатки-страхлены длиной 0,00085 сантиметра и очень слабые страхлены длиной 0,0020 сантиметра. Сильвит дает самые длинные из когда-либо выделенных лучей, длина волны составляет 0,006 сантиметра.

Диапазон волн.—Измеренные на данный момент длины волн следующие:—

Волны Шумана от .00001 до .00002 см.
Ультрафиолет от .00002 до .00004 "
Фиолетовый00004 "
Зеленый00005 "
Красный от .00006 до .000075 "
Инфракрасный от .000075 примерно до .0001 "
Остаток-страхлен из кварца . . .00085 и .0020 "
Остаток-страхлен из сильвита . . .0060 "

Таким образом, длина самых длинных волн в шестьсот раз превышает длину самых коротких.

Соответствующий диапазон длин звуковых волн составлял бы немногим более восьми октав, из которых видимая часть спектра составляет менее одной.

Электромагнитная индукция.—В попытке объяснить природу электромагнитной волны (стр. 17-21) было заявлено, что электрическая волна всегда должна сопровождаться магнитной волной. Чтобы понять происхождение этих волн, необходимо более подробно описать соотношение между электрическими и магнитными силовыми линиями. Большое количество довольно простых экспериментов показывают, что всякий раз, когда электрическое поле в какой-либо точке меняется, *т.е.* Всякий раз, когда силовые линии движутся перпендикулярно друг другу, в точке создается магнитное поле, и это магнитное поле сохраняется, пока происходит изменение. Точно такой же результат наблюдается при изменении магнитного поля в

определенной точке — создается электрическое поле, которое сохраняется, пока меняется магнитное поле. Следовательно, когда изменяется электрическое поле, происходит как действие, так и реакция — создается магнитное поле, и это изменение магнитного поля создает соответствующее электрическое поле. Это индуцируемое электрическое поле всегда такого рода, что задерживает изменение исходного электрического поля; если исходное поле становится слабее, индуцируемое поле находится в том же направлении, тем самым задерживая ослабление, а если исходное поле становится сильнее, индуцируемое поле находится в противоположном направлении, тем самым задерживая увеличение.

Импульс движущегося электрического поля.—Представьте теперь небольшую часть электрического поля, движущуюся с постоянной скоростью; благодаря своему движению она будет создавать устойчивое магнитное поле. Если теперь движение остановить, магнитное поле будет разрушено, и изменение магнитного поля создаст электрическое поле, чтобы задержать изменение, *т.* чтобы продолжить первоначальное движение. Движущееся электрическое поле, таким образом, обладает импульсом точно так же, как движущаяся масса. Параллель между ними строго точна. Масса обладает энергией благодаря своему движению, и для того, чтобы остановить массу, эта энергия должна быть преобразована в какую-то другую форму энергии, и поэтому должна быть выполнена работа. Электрическое поле обладает энергией благодаря своему движению — энергией магнитного поля, — и поэтому, чтобы остановить движение электрического поля, энергия магнитного поля должна быть преобразована в какую-то другую форму, и поэтому должна быть выполнена работа. Одно из следствий импульса движущейся массы хорошо проиллюстрировано на примере маятника. Качающийся маятник находится в равновесии, когда он находится в своей самой низкой точке, но когда его смещают из этой точки и позволяют ему качаться, он не качается до своей самой низкой точки и не остается там, а своим импульсом уносится за пределы этой точки. Работа, проделанная при перемещении боба, вскоре приводит к тому, что он останавливается на другой стороне, и он снова откидывается назад только для того, чтобы снова превысить отметку. Трение в опоре маятника и сопротивление воздуха движению делают каждое колебание немного меньшим, чем предыдущее, так что в конечном итоге колебание упадет до нуля, и маятник остановится в своей самой низкой точке. Следовательно, график смещения стержня в разные моменты времени будет выглядеть примерно так, как показано на рис. 28. Если бы маятник качался не в воздухе, а в какой-нибудь вязкой среде, такой как масло, его колебания затухали бы гораздо быстрее, а если среда достаточно вязкая, колебания могут быть полностью подавлены, маятник просто опустится в свое нижнее положение.

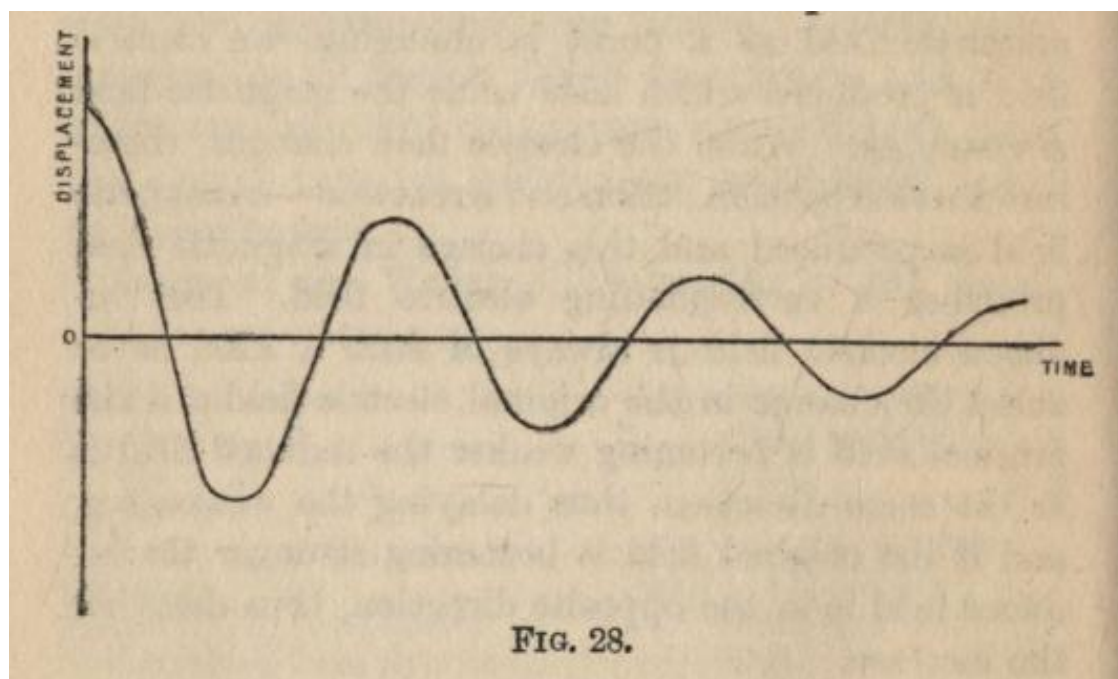


РИС. 28.

Электрические колебания.— Эти условия имеют свой точный аналог в электрическом поле. Чтобы понять их, необходимо иметь в виду три свойства силовых линий: (i.) силовые линии действуют как бы в натянутом состоянии и поэтому всегда стремятся максимально укоротиться; (ii.) концы силовых линий могут свободно перемещаться по проводнику; (iii.) силовые линии в движении обладают импульсом. Теперь представьте две проводящие пластины А и В, рис. 29, заряженные положительно и отрицательно и, следовательно, соединенные силовыми линиями, как показано на рисунке. Пусть две пластины внезапно соединятся проволокой *w*, так что концы силовых линий смогут свободно скользить от А к В или *наоборот*, и, следовательно, все линии будут скользить вверх вдоль А и В, а затем навстречу друг другу вдоль *w*, пока они не сократятся до нуля где-нибудь в *w*. Очевидно, что условие равновесия будет достигнуто, когда все линии, таким образом, сократятся до нуля, но линии, которые движутся от А к В, будут иметь импульс и, следовательно, превысят условие равновесия и перейдут прямо к В. То есть положительные концы линий будут проходить к В, и аналогично отрицательные концы будут проходить к А. Следовательно, силовые линии между А и В будут поменяны местами. Натяжение линий вскоре остановит их, и они снова соскользнут назад, снова превысят отметку, достигнут предела в первоначальном направлении и все равно снова соскользнут назад. Таким образом, поле между А и В будет постоянно меняться местами, но каждый раз его значение будет немного меньше, пока, в конечном счете, вибрации не упадут до нуля. Таким образом, если бы мы заменили смещение на рис. 29 значением поля между А и В, у нас должен был бы получиться точно такой же график.

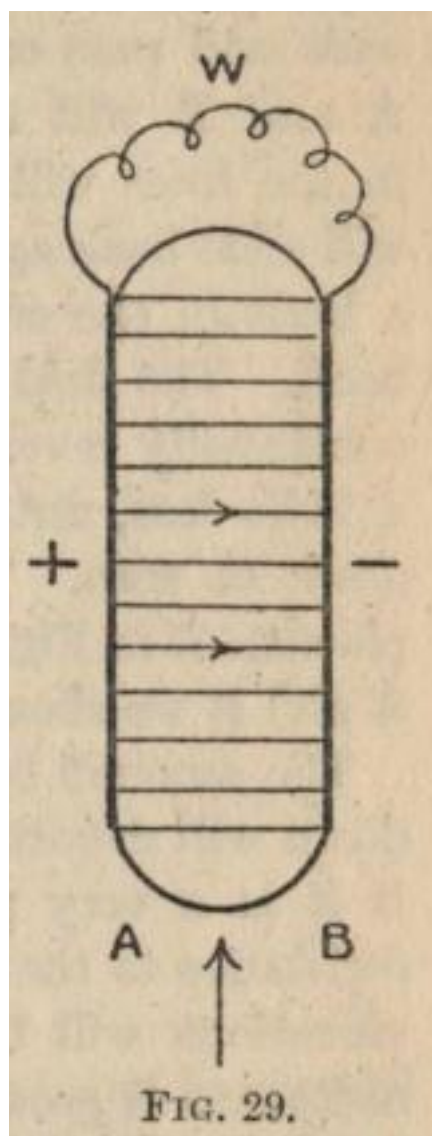


РИС. 29.

Величина, на которую затухают колебания, будет зависеть от характера провода w . Если это очень плохой проводник, он будет оказывать большое сопротивление скольжению линий вдоль него, и вибрации будут быстро затухать или, если сопротивление достаточно велико, вообще подавляться.

Это быстрое изменение электрического поля будет испускать электромагнитные волны, которые затухают по мере уменьшения колебаний.

Искровой разряд.—На практике провод w фактически не используется, но сам воздух внезапно становится проводником и устанавливает соединение. Когда электрическое поле в какой-либо точке воздуха превышает определенную предельную напряженность, кажется, что воздух разрушается и внезапно становится проводником и остается им в течение короткого времени. Это разрушение сопровождается воздействием света и тепла и известно как искровой разряд или электрическая искра.

Эксперименты Герца.—В блестящих экспериментах, проведенных Герцем в Карлсруэ между 1886 и 1891 годами, он не только продемонстрировал существование волн, создаваемых таким образом, но и показал, что они отражаются и преломляются подобно обычному свету, он измерил длину их волны и грубо измерил их скорость, которая оказалась равной скорости света с учетом погрешностей эксперимента.

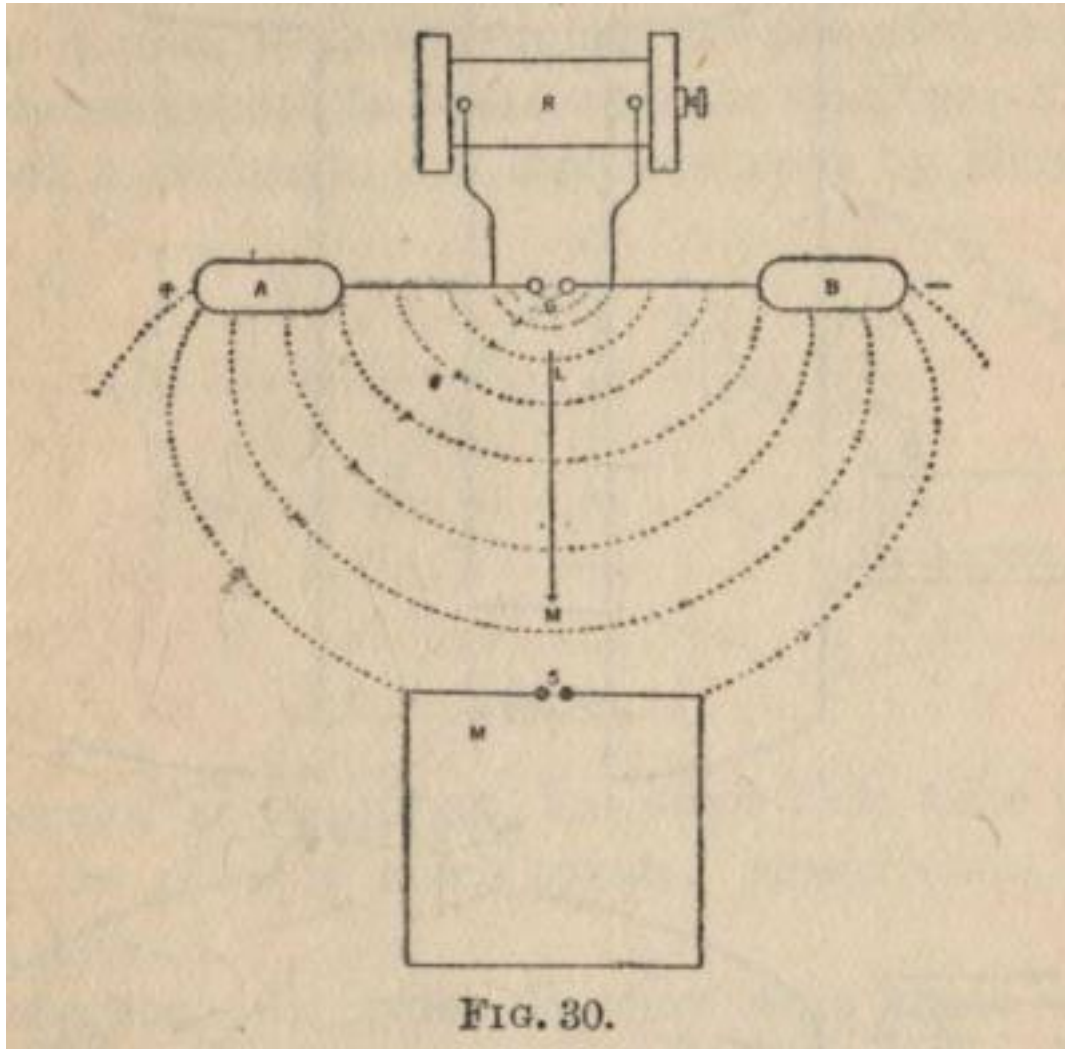


РИС. 30.

Одно устройство, используемое компанией Hertz, показано в плане на рис. 30. Катушка R Рамкорфа служит для зарядки двух проводников A и B до тех пор, пока воздух не разорвется в зазоре G и не проскочит искра. До того, как будет произведена искра, силовые линии на нижней стороне АВ будут по форме чем-то напоминать пунктирные линии на рисунке, но как только воздух станет проводником, положительные концы линий устремятся от А к В и далее к В, а отрицательные концы устремятся к А. Эти скачки туда-сюда будут продолжаться еще некоторое время, но постепенно затихнут. Поскольку все колебания происходят вверх и вниз по АВ, электрические колебания в посылаемых электромагнитных волнах будут параллельны АВ, и, следовательно, они будут поляризованы.

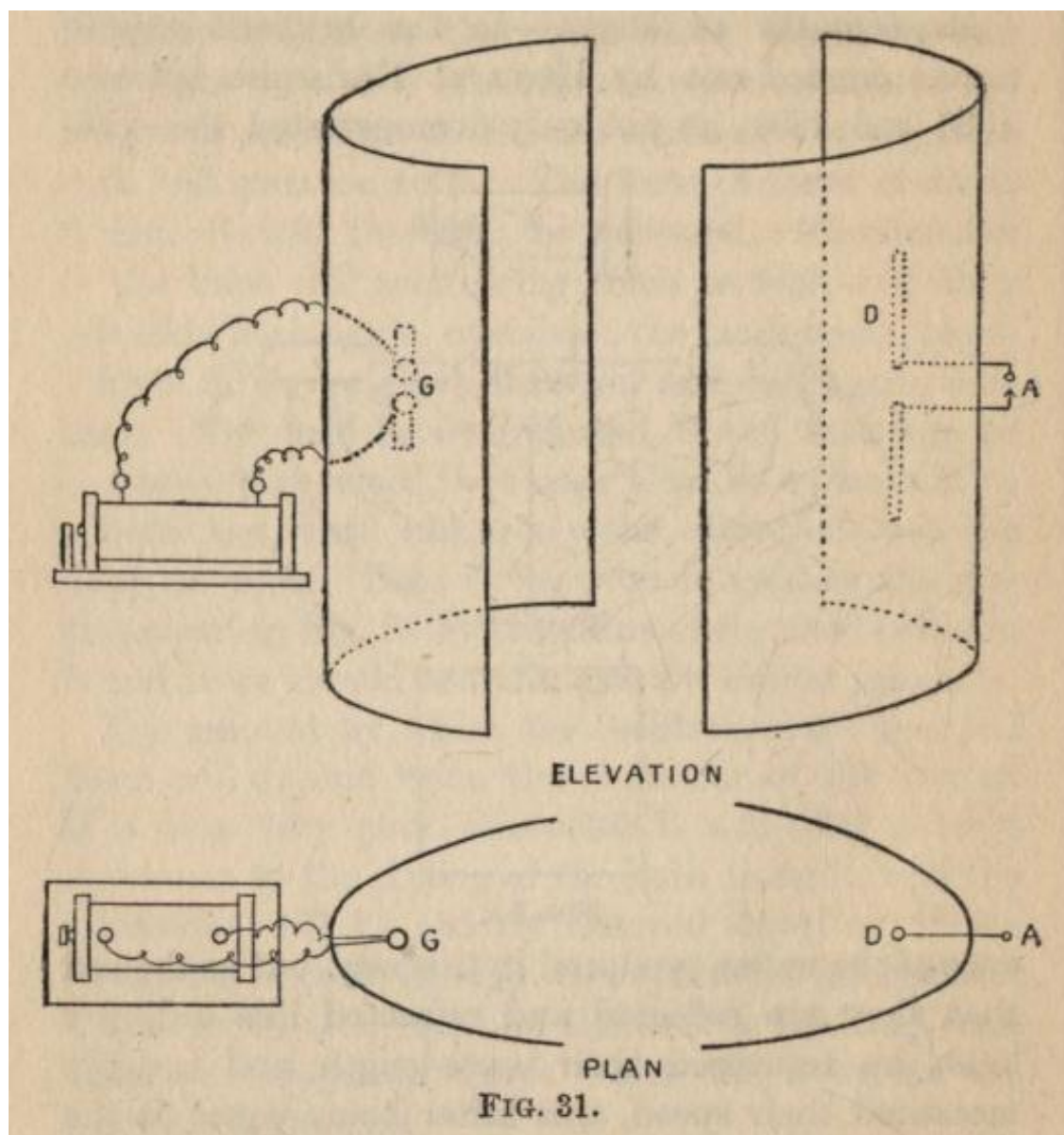


FIG. 31.

РИС. 31.

Это характерно для всех электрических волн, поскольку ни одно искровое устройство не будет производить ничего, кроме волн, параллельных искровому промежутку. Электрические колебания, доходящие до проводника, расположенного в положении проволоочного прямоугольника М, вызовут перенапряжение линий вдоль него и, если эти перенапряжения достаточно мощные, вызовут прохождение искры через небольшой зазор S.

Поэтому Герц использовал такой прямоугольник в качестве детектора волн, но с тех пор было разработано множество детекторов гораздо большей чувствительности.

Размышление.—Чтобы показать, что эти волны отражаются так же, как световые, Герц поместил искрящиеся ручки G в фокус большого параболического металлического отражателя, а свой детектор D - в фокус аналогичного отражателя, расположенного, как показано на рис. 31, но гораздо дальше (см. рис. 1). В этом положении искрение при G вызывало сильное искрение в детекторе, хотя расстояние было таким, что без отражателей искрение не возникало.

Преломление.—Преломление волн было показано с помощью большой призмы, сделанной из смолы. Он имел угол наклона 30° и был около 1,5 метров в высоту и 1,2 метра в ширину.

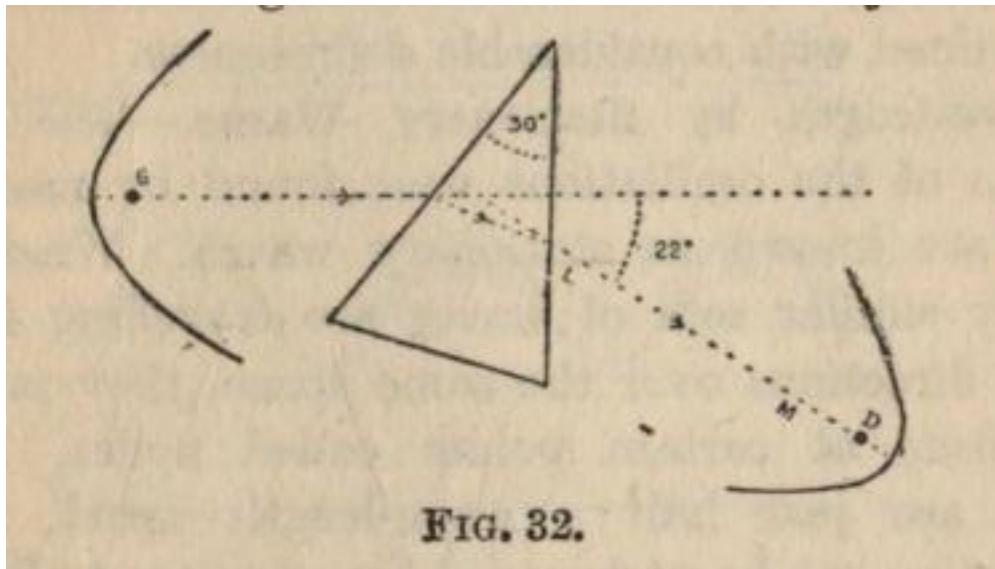


РИС. 32.

При настройке, как показано в плане на рис. 32, в детекторе возникло сильное искрение, что показало, что лучи электрических волн отклонялись на 22° при прохождении через призму.

Перемещение зеркала и детектора в любом направлении от линии LM приводило к быстрому уменьшению интенсивности искр, так что точное положение LM можно было определить со значительной точностью.

Длина волны с помощью стационарных волн.—Длины волн колебаний были найдены с помощью так называемых стационарных волн. Когда два абсолютно одинаковых набора волн распространяются в противоположных направлениях в одном и том же пространстве, они не оказывают никакого воздействия в определенных точках, называемых узлами. Эти узлы находятся на расстоянии всего половины длины волны друг от друга. Их возникновение можно понять, обратившись к рис. 33. Пунктирные линии представляют две волны, которые движутся в направлении, указанном стрелками. В А выбирается время, когда волны точно накладываются друг на друга, и результирующее смещение будет представлено сплошной линией. Точки, отмеченные крестиком, будут точками, в которых смещение равно нулю.

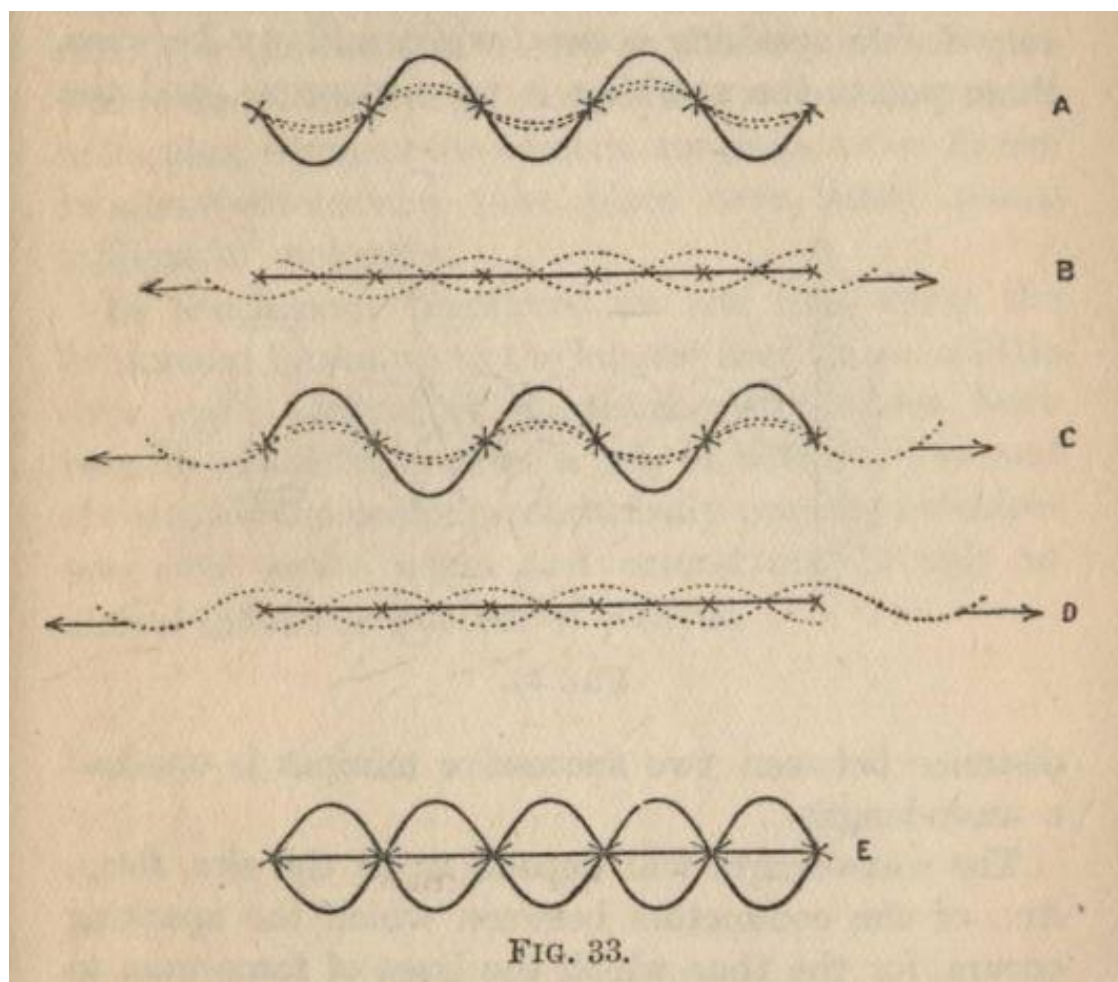


РИС. 33.

На рисунке В каждая волна прошла расстояние, равное четверти длины волны, и будет видно, что два набора волн вызывают равные и противоположные смещения. Таким образом, результирующее смещение равно нулю, как указано сплошной линией. В С волны прошли еще четверть длины волны и снова накладываются друг на друга, но в этом случае смещения будут в направлениях, противоположных смещениям в А. В D каждая волна прошла еще одну четверть длины волны, и еще одна четверть длины волны вернула бы положение А.

В Е у нас есть последовательные положения волны, нарисованные на одной диаграмме, и мы замечаем, что точки, обозначенные крестиком, всегда не смещены, а их расстояние друг от друга составляет половину длины волны.

Герц создал эти условия, установив свою катушку и зажигающие ручки на некотором расстоянии от отражающей стены, рис. 34. Тогда волны, которые подходят к стене, и те, которые отражаются от стены, будут распространяться в противоположных направлениях по одному и тому же пространству. Правда, отраженные волны будут несколько слабее исходных, так что даже в узлах будет небольшое смещение, но это будет хорошо заметный минимум. Таким образом, когда детектор установлен в точках А, В, С или D, искрение отсутствует или очень слабое, в то время как на полпути между этими точками искрение очень сильное, а расстояние между двумя последовательными минимумами составляет половину длины волны.

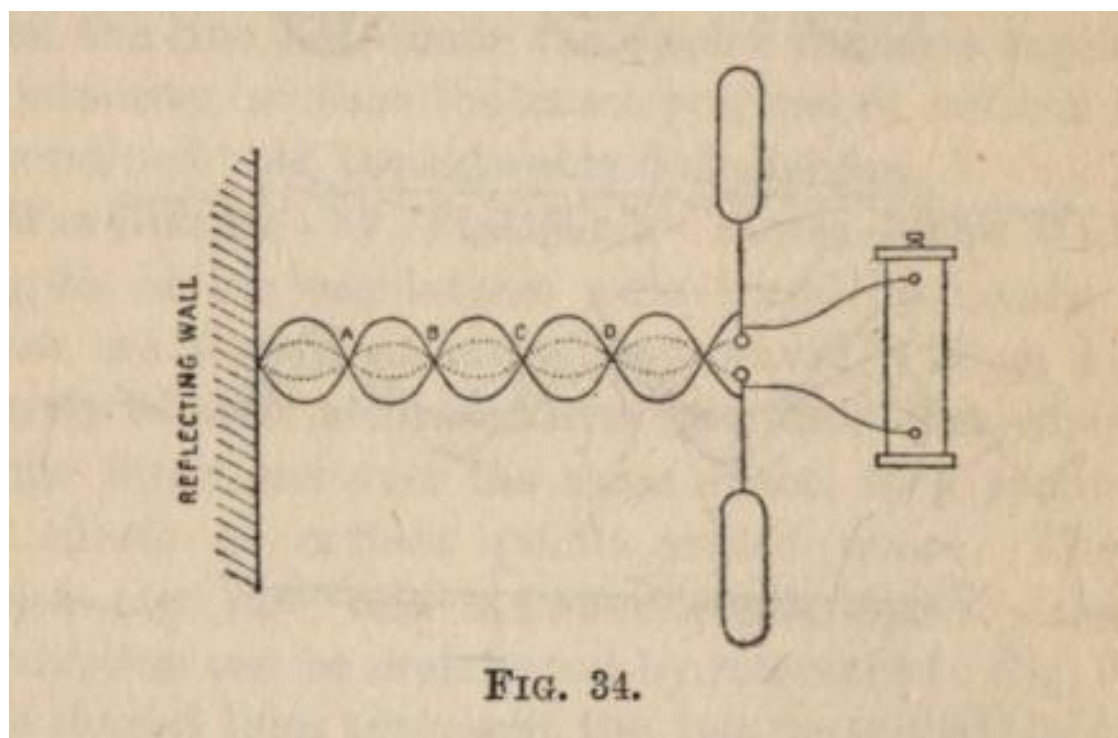


РИС. 34.

Длина волны будет зависеть от размера, формы и т. Д. проводников, между которыми происходит искрение, поскольку время, необходимое силовым линиям, чтобы перемещаться взад и вперед в проводниках, будет зависеть от этих факторов. При прочих равных условиях, чем меньше проводники, тем меньше время и, следовательно, тем короче длина волны. Самая короткая волна, которую удалось создать Герцу, имела длину 24 сантиметра, но с тех пор были созданы волны длиной всего 6 миллиметров.

Волны, создаваемые современными аппаратами беспроволочного телеграфирования, достигают нескольких миль в длину.

Таким образом, мы видим, что существует довольно большой разрыв между самыми длинными тепловыми волнами, которые были выделены, 0,006 см, и самыми короткими электрическими волнами, 0,6 см. Однако удивительным фактом является то, что этот зазор настолько мал, поскольку тепловые волны создаются колебаниями внутри молекулы или, самое большее, внутри небольшой группы молекул, тогда как электрические разряды, даже в мельчайших проводниках, происходят на многих миллионах молекул.

Таким образом, в заключение мы видим, что от волн Шумана до самых длинных тепловых волн было обнаружено немногим более восьми октав электромагнитных волн, затем, после промежутка между пятью и шестью октавами, начинаются обычные электрически генерируемые электромагнитные волны, которые распространяются на почти неопределенное количество октав.

КНИГИ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ЧТЕНИЯ

Дж. Х. Пойнтинг, *Давление света*.

Э. Эдсер, *Тепло для продвинутых студентов*: главы о радиации.

Э. Эдсер, *Свет для продвинутых студентов*: главы о спектре.

Б. В. Вуд, *Физическая оптика*: главы о флуоресценции и фосфоресценции, законах излучения, природе белого света и поглощении света.

Напечатано BALLANTYNE, HANSON & CO.
в Эдинбурге и Лондоне